



MESTRADO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA E HIGIENE OCUPACIONAIS

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

ESTUDO INTEGRADO DA COMPONENTE DO PESTANEJAR NOS REGISTOS EEG E POR CAPTAÇÃO DE IMAGEM, COMO INDICADOR DE FADIGA NO DESEMPENHO DE TAREFAS EM DIFERENTES CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Raquel Pereira Martins

Orientador: Professor Doutor Jorge Manuel Cabral Machado de Carvalho
(Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Arguente: Professora Doutora Isabel Maria Pereira Leite de Freitas Loureiro
(Universidade do Minho)

Presidente do Júri: Professor Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista
(Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

2014



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt

ISN: 3599*654



Telephone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Eletrónico: feup@fe.up.pt

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado a todos aqueles que deram a sua contribuição para que esta dissertação fosse realizada, aos quais deixo aqui o meu sincero agradecimento.

Aos meus pais, pelos sacrifícios ao longo de todos estes anos, pela forma como incutiram em mim a alegria de viver, a confiança necessária para lutar e realizar os meus sonhos e a orientação nos momentos de incertezas. Sem o vosso apoio nada disto teria sido possível.

Ao meu orientador, Professor Doutor Jorge Carvalho, pelas construtivas opiniões, pertinências científicas e pelo interesse e valorização deste trabalho.

Ao Professor Doutor João Santos Baptista pela pronta disponibilidade, algumas ‘desorientações’ e partilha de conhecimentos.

À Professora Emília Costa e à Professora Joana Guedes pelo apoio nos ensaios laboratoriais e no tratamento de dados.

À Mestre Célia Ferreira e à Mestre Jacqueline Castelo Branco pela amabilidade demonstrada, simpatia e boas energias transmitidas em todo este processo. Acreditem que serão sempre recordadas por mim.

Ao MESHO e Laboratório PROA, pela oportunidade concedida e os meios disponibilizados para a realização deste trabalho.

À minha família pelo carinho, e à família Balkeståhl por toda a ajuda em todas as etapas deste trabalho, pela amizade e sobretudo pelo segundo lar.

Às estimadas amigas, sempre presentes, pela amizade, paciência e apoio incondicional.

Aos voluntários, sem os quais a realização da parte prática não seria possível; a vossa disponibilidade, paciência e compreensão foram essenciais.

Muito obrigada a todos!

RESUMO

Nos últimos anos têm-se feito esforços para explicar o aumento de acidentes de trabalho resultantes de erros humanos. O ambiente térmico no local de trabalho e a presença de fadiga desempenham um papel fundamental na saúde, bem-estar e produtividade dos trabalhadores. Pensa-se que o pestanejar de olhos, embora sendo considerado usualmente um artefacto ocular sujeito a remoção nos registos de EEG, pode ser um bom indicador do estado de fadiga e esforço mental.

O objetivo principal da dissertação é a caracterização do pestanejar durante a realização de tarefas cognitivas em diferentes condições ambientais, de temperatura e humidade, assim como a avaliação da possibilidade da sua individualização nos registos encefalográficos, EEG, para posterior utilização no estudo da fadiga.

Realizaram-se ensaios laboratoriais numa Câmara Climática na presença de duas Condições distintas de temperatura/humidade relativa e execução de uma tarefa cognitiva. Obteve-se a componente do pestanejar com recurso a uma câmara Web, assim como por processamento dos sinais EEG registados. A individualização da componente do pestanejar nos registos EEG foi obtida por subtração dos registos de pré e pós-filtragem da componente do pestanejar pelo método ICA. Aplicou-se ainda um Questionário de Sensação Térmica para verificação da percepção e preferência relativas às variáveis ambientais específicas no início e final do ensaio.

Na averiguação da existência de relação entre o pestanejar e as duas condições ambientais dos ensaios, Condições 1 e 2, verificou-se que, para cada ensaio nas mesmas condições, a frequência do pestanejar diferiu entre voluntários, confirmando a existência de significativa variabilidade intra e interindividual. Verificou-se ainda a possibilidade de ocorrer um maior esforço cognitivo na Condição 2 já que a frequência de pestanejar foi ligeiramente superior à verificada na Condição 1. A aplicação do questionário de sensação térmica permitiu avaliar a percepção subjetiva de cada voluntário em todos os momentos do ensaio, e permitiu interpretar em grande parte os resultados obtidos. Na avaliação da possibilidade de deteção da expectável correlação temporal entre o pestanejar identificado, em cada ensaio, por visionamento das gravações vídeo, e os respetivos sinais EEG, verificou-se a existência de uma correlação temporal significativa entre a existência de pestanejar e os picos de maior amplitude nos sinais EEG obtidos após processamento, com uma percentagem média de 42.71%.

A realização de ensaios em ambiente laboratorial, considerado monótono, permite a instalação mais célere de um estado de fadiga, tendo-se verificado uma variação da componente pestanejar como função do tempo de execução da tarefa na maioria dos casos. Não foram encontrados estudos que incluam a deteção de pestanejar e a sua relação com o estado de fadiga ou esforço mental, em simultâneo com condições ambientais consideradas extremas. Considerou-se bastante conservativa a abordagem exploratória proposta para individualização da componente do pestanejar nos registos EEG, através da subtração dos registos pré e pós-filtragem da componente do pestanejar pelo método ICA, e a sua comparação com os pestanejos obtidos pela visualização dos vídeos, podendo esta ser otimizada em trabalhos futuros, como sugerido.

Palavras-chave: pestanejar, fadiga, EEG, ambiente térmico.

ABSTRACT

In recent years efforts have been made to explain the increase of labor accidents resulting from human error. The thermal environment in the workplace and the presence of fatigue play a key role in health, wellness and productivity of workers. It is believed that eye blinking, although usually considered an eye artefact subject to removal on recorded encephalographic data, EEG, can be a good indicator of the state of fatigue and mental effort. The main purpose of this work is the characterization of blinking while performing cognitive tasks in different environmental conditions, temperature and humidity, as well as evaluating the possibility of its individualization in EEG records, for later use in the study of fatigue.

Laboratory tests were performed in a climatic chamber in the presence of two distinct conditions of temperature / relative humidity and execution of a cognitive task. The eye blinking component was obtained using a Web camera, as well as through the processing of recorded EEG signals. The individualization of eye blinks in EEG records was obtained by subtraction of the records of pre and post-filtering component of the blink by the ICA method. It was also used a thermal comfort questionnaire when the subject entered the climate chamber and when the task ended.

In the assessment of the existence of a relationship between eye blink and the two environmental conditions of the tests, Conditions 1 and 2, it was found that for each test under the same condition, the frequency of blinking differed among subjects, confirming the existence of significant intra and interindividual variability. It was also verified a possible greater cognitive effort in Condition 2 since the frequency of blinking was slightly higher than that in Condition 1. The application of thermal sensation questionnaire allowed to assess the subjective perception of each volunteer at all testing time, and allowed to interpret largely the results obtained. In assessing the possibility of detection of the expected temporal correlation between blinking identified in each test by viewing the video recordings and the respective EEG signals, it was verified the existence of a significant temporal correlation between the existence of blinking and peak higher amplitude in EEG signals obtained after processing with an average percentage of 42.71%.

Tests that are done in a laboratory environment, considered monotonous, allows faster installation of a state of fatigue, with eye blinking varying as a function of time on tasks in most cases. No studies were found including eye blink detection and its relationship with the state of fatigue or mental effort, along with extreme environmental conditions considered. The exploratory approach proposed that consists in individualization of eye blinking effects in EEG by subtraction of records pre and post-filtering of the eye blink by ICA and its comparison with eye blink obtained by viewing the videos, is considered to be very conservative, which can be optimized in future work as suggested.

Keywords: Eye blink, fatigue, EEG, thermal environment.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	3
2	ESTADO DA ARTE	7
2.1	Noções básicas.....	7
2.2	Conhecimento Científico.....	13
2.2.1	Processo de seleção de artigos	13
2.2.2	Corpo teórico.....	19
3	OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	Objetivos da Dissertação	29
3.2	Materiais e Métodos	29
3.2.1	Envolvente e/ou contexto	30
3.2.2	Equipamentos, protocolos e questionários/inquéritos	30
3.3	Procedimento de ensaio	36
3.4	Tratamento de Dados.....	38
3.4.1	Questionário de Sensação Térmica	38
3.4.2	Recolha e tratamento dos dados dos Vídeos	40
3.4.3	Tratamento dos Dados EEG.....	41
4	Análise e Discussão de Resultados.....	47
4.1	Resultados da visualização dos vídeos	47
4.2	Resultados da comparação dos pestanejos obtidos por Web câmara e via EEG.....	68
4.3	Monitorização da temperatura	71
5	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	73
5.1	Conclusões.....	73
5.2	Perspetivas Futuras	74
6	BIBLIOGRAFIA	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Características do pestanejar (Adaptado de Caffier et al. 2003).	10
Figura 2: Identificação dos Lobos Cerebrais.....	11
Figura 3: Diagrama de fluxo relativo à metodologia de revisão sistemática baseada em <i>Prisma Statment</i>	15
Figura 4: Esquematização global.	30
Figura 5: Câmara Climática utilizada nos ensaios laboratoriais.	32
Figura 6: Câmara Web utilizada nos ensaios laboratoriais	32
Figura 7: Emotiv Epoc <i>headset</i>	33
Figura 8: Exemplificação da colocação do equipamento.....	33
Figura 9: Termopar Monitor Flux 29	34
Figura 10: Localização dos 8 pontos para estimativa da temperatura média da pele	34
Figura 11: Colete Equivital e restantes acessórios	34
Figura 12: Representação da Tarefa Cognitiva.	35
Figura 13: Captação de imagem durante o ensaio de um voluntário.	38
Figura 14: Esquematização dos comandos a executar em <i>Eeglab</i> para a localização de canais...42	
Figura 15: Disposição dos canais, localização dos elétrodos.....	42
Figura 16: Esquematização de comandos para visualização da topografia 14 componentes independentes.	43
Figura 17: Diagramas do escalpe - topografia 14 componentes, Ensaio 2, voluntário 1	43
Figura 18: Topografia da componente 3 com características semelhantes ao pestanejar.	43
Figura 19: Esquematização dos comandos para inspeção manual e rejeição da componente 3. ...	43

ÍNDICE DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1: Caracterização geral dos estudos incluídos	16
Tabela 2: Caracterização geral da Fadiga/Carga Mental e análise EEG/EOG nos estudos incluídos	17
Tabela 3: Caracterização geral da componente de pestanejar e captação visual.....	18
Tabela 4: Características pessoais dos indivíduos.....	31
Tabela 5: Equipamentos e Materiais utilizados.....	31
Tabela 6: Estatísticas sumárias relativas ao número de pestanejos verificado em cada ensaio	61
Tabela 7: Dados relativos à seleção aleatória dos pontos com maior amplitude	69

Gráfico 1: Recursos utilizados na pesquisa bibliográfica relativos a revistas científicas e bases de dados.....	14
Gráfico 2: Resultados do Questionário relativos ao início e fim do ensaio na Condição 1.	39
Gráfico 3: Resultados do Questionário relativos ao início e fim do ensaio na Condição 2.	40
Gráfico 4: N° de pestanejos/min, voluntário 1, Condição 1, DP e modelo de regressão	47
Gráfico 5: N° de pestanejos/min no voluntário 1, Condição 1, sem os 3 minutos iniciais	48
Gráfico 6: N° de pestanejos/min, voluntário 1, Condição 2, DP e modelo de regressão.	48
Gráfico 7: N° de pestanejos/min, voluntário 2, Condição 1, DP e modelo de regressão.	49
Gráfico 8: N° de pestanejos/min, voluntário 2, Condição 1, sem 3 minutos iniciais.	49
Gráfico 9: N° de pestanejos/min, voluntário 2, Condição 2, DP e modelo de regressão.	50
Gráfico 10: N° de pestanejos/min, no voluntário 2, Condição 2, sem 2 minutos iniciais.	50
Gráfico 11: N° de pestanejos/min, voluntário 3, Condição 1, DP e modelo de regressão.	51
Gráfico 12: N° de pestanejos/min, voluntário 3, Condição 2, DP e modelo de regressão.	52
Gráfico 13: N° de pestanejos/min, voluntário 3, Condição 2, sem 7 minutos iniciais.	52
Gráfico 14: N° de pestanejos/min, voluntário 4, Condição 1, DP e modelo de regressão.	53
Gráfico 15: N° de pestanejos/min, voluntário 4, Condição 1, sem os 4 minutos iniciais.	53
Gráfico 16: N° de pestanejos/min, voluntário 4, Condição 2, DP e modelo de regressão.	54
Gráfico 17: N° de pestanejos/min, voluntário 5, Condição 1, DP e modelo de regressão.	54
Gráfico 18: N° de pestanejos/min, voluntário 5, Condição 2, DP e modelo de regressão.	55
Gráfico 19: N° de pestanejos/min, no voluntário 6, Condição 1, DP e modelo de regressão.	55
Gráfico 20: N° de pestanejos/min, voluntário 6, Condição 2, DP e modelo de regressão.	56
Gráfico 21: N° de pestanejos/min, voluntário 7, Condição 1, DP e modelo de regressão.	57
Gráfico 22: N° de pestanejos/min, voluntário 7, Condição 2, DP e modelo de regressão.	57
Gráfico 23: N° de pestanejos/min, voluntário 8, Condição 1, DP e modelo de regressão.	58
Gráfico 24: N° de pestanejos, voluntário 8, Condição 2, DP e modelo de regressão.	58
Gráfico 25: N° de pestanejos/min, voluntário 9, Condição 1, DP e modelo de regressão.	59
Gráfico 26: N° de pestanejos/min, voluntário 9, Condição 2, DP e modelo de regressão.	59
Gráfico 27: N° de pestanejos/min, voluntário 10, Condição 1, DP e modelo de regressão.	60
Gráfico 28: N° de pestanejos/min, voluntário 10, Condição 2, DP e modelo de regressão.	60

Gráfico 29: Média relativa ao nºpestanejos/minuto, na Condição 1 e Condição 2.....	62
Gráfico 30: Frequência média global do nº de pestanejos para Condição 1 e Condição 2.....	62
Gráfico 31: Frequência média global nºpestanejos para Condição 1 e Condição 2.....	63
Gráfico 32: Tempo médio entre pestanejos na Condição 1 e Condição 2.	63
Gráfico 33: Número de pestanejos na Condição 1 e Condição 2.....	64
Gráfico 34: DP do nº de pestanejos.....	64
Gráfico 35: Nº máximo de pestanejos para Condição 1 e Condição 2.	65
Gráfico 36: Nº mínimo de pestanejos para Condição 1 e Condição 2.	65
Gráfico 37: Frequência média de pestanejos na Condição 1.	66
Gráfico 38: Frequência média de pestanejos na Condição 2.	66
Gráfico 39: Frequência média de pestanejos para Condição 1 e Condição 2.	67
Gráfico 40: Visualização geral do canal 14 e pestanejos no Ensaio 2.....	70
Gráfico 41: Exemplo de coincidência exata.	70
Gráfico 42: Exemplo de não coincidência exata.....	70

GLOSSÁRIO/SIGLAS/ABREVIATURAS

C – Condição

CVS – *Comma separated values* (valores separados por vígula)

DP – Desvio Padrão

EDF – *European Data Format*

EEG – Eletroencefalograma

EOG – Eletrooculograma

ICA – *Independent Component Analysis*

IC - Componentes independentes

SNC – Sistema Nervoso Central

SNP – Sistema Nervoso Periférico

UE – União Europeia

V – Voluntário

Estudo integrado da componente do pestanejar nos registos EEG e por captação de imagem. Como indicador de fadiga no desempenho de tarefas em diferentes condições ambientais

PARTE 1

1 INTRODUÇÃO

A atual pressão da sociedade contemporânea sobre os indivíduos tem contribuído para aumentar a preocupação pelas condições de trabalho e a preocupação pelo grau de eficácia do desempenho humano em avaliar e gerir a carga de trabalho mental. Alargam-se as responsabilidades por parte das organizações/entidades para proporcionar ambientes de trabalho seguros e saudáveis e as responsabilidades dos trabalhadores para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade. Ao longo dos últimos anos têm-se feito esforços para explicar o aumento de acidentes de trabalho resultantes de erros humanos, derivados de fadiga, *stress*, doença, uso de medicamentos, etc., os quais podem levar a perdas de atenção, diminuição de capacidade mental, mal-estar e desconforto (Recarte, Perez, Conchillo, & Nunes, 2008).

O resultado da combinação entre as características humanas e o desempenho de tarefas exigentes, relaciona-se com o aumento da carga de trabalho mental (Recarte et al., 2008; Canepa¹, 2013). Nas diversas situações de trabalho, existem vários fatores que contribuem para o aumento da carga de trabalho mental, exercendo pressões sobre os trabalhadores que desempenham as tarefas (Arquer & Nogareda², 2004), sendo que para esse aumento contribuem ainda alguns fatores extrínsecos e ambientais.

O ambiente térmico de trabalho constitui um dos fatores que desempenha um papel fundamental na saúde, bem-estar e produtividade, integrando um conjunto de variáveis que influenciam as trocas de calor entre o organismo do indivíduo e o meio ambiente (Miguel, 2007). Segundo a ISO 7730:2005, o conceito de conforto térmico é definido como o “estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico”, ou seja, é a condição psicológica de um indivíduo que expressa satisfação em relação às condições térmicas do ambiente onde se encontra. Este estado só pode ser alcançado quando os parâmetros físicos de ambiente térmico proporcionam condições que permitem ao organismo ajustar-se facilmente, tais como a temperatura do ar e a humidade relativa. A temperatura do ar encontra-se relacionada com as trocas de calor, por convecção, entre o organismo humano e o ambiente, e expressa-se geralmente em graus Celsius (°C). A humidade relativa exprime a relação entre a pressão parcial de vapor de água no ar húmido e a pressão de saturação do vapor de água, à mesma temperatura, expressa em percentagem (%). Este trata-se de um fator ambiental determinante no conforto térmico, devido a intervir nas trocas de calor, por evaporação, ao nível do corpo humano (Miguel, 2007).

A manutenção da temperatura interna do corpo humano – responsável pelo funcionamento ótimo das principais funções do organismo em geral e, particularmente, do sistema nervoso central (SNC) – é assegurada se o fluxo de calor produzido pelo organismo for igual ao fluxo de calor cedido por este ao ambiente. Portanto, o calor gerado no corpo humano é permanentemente transferido para o ambiente, de modo a que a temperatura do corpo permaneça constante ($37,0 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$). Segundo Miguel (2007), a temperatura do organismo é regulada através do fluxo sanguíneo, desde os elementos de produção de calor – como músculos e tecidos internos – até à superfície de arrefecimento do corpo. Mas há zonas do organismo, nomeadamente o baixo esófago e o canal do ouvido, cuja temperatura reflete mais eficazmente as respostas às alterações térmicas do corpo humano, a qual é designada por temperatura central. Em condições de ambiente confortável, a temperatura central do corpo humano é de aproximadamente 37°C e a temperatura da pele ou superficial varia entre 33° - 34°C . Contudo, perante uma situação de *stress* térmico em ambiente quente, a temperatura da pele pode aproximar-se 1° a 2°C do valor da

¹ Canepa, C. D. (2013). Carga mental. *Laboreal*, 9(1), 109-112, acedido a 23 de abril, em: <http://laboreal.up.pt/pt/articles/carga-mental/>

² Arquer, I & Nogareda, C. (2004). NPT 659: Carga Mental de Trabajo: diseño de tareas. INSHT. Acedido a 6 de janeiro, 2014, em: www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_659.pdf

temperatura central e, em ambiente frio, pode descer até um valor cuja diferença relativamente à temperatura central se situe entre 10° e 15°C. À medida que o nível de *stress* térmico se afasta da zona de conforto, o indivíduo experiencia uma sensação subjetiva de incómodo, podendo inclusive ocorrer uma redução considerável do rendimento na execução de tarefas, ou mesmo provocar acidentes por falta de atenção e empenho na tarefa a realizar (Fanger, 1972). Foi também demonstrado que o aumento de aproximadamente 1°C numa temperatura ambiente superior a 22°C, pode diminuir em 1% o desempenho do trabalhador (Clements-Croome, 2008). Por sua vez, no estudo de Tanabe, Nishihara, & Haneda (2007), mostrou-se que seria necessário um maior fluxo de sangue no cérebro para a manutenção do mesmo nível de desempenho na execução de uma tarefa na condição de ambiente quente (33°C) do que numa condição termicamente neutra (26°C).

Tarefas que provocam o aumento da carga de trabalho mental podem ter efeitos cumulativos sobre o indivíduo, dando lugar a estados de fadiga, sendo este um conceito subjetivo e complexo. Pode definir-se fadiga como o estado transitório entre o estado de alerta e o de sonolência, bem como a reduzida performance mental ou física (SafetyNet³, 2009), expressa como uma manifestação fisiológica que sinaliza o término da atividade a executar (diminuição das capacidades humanas para execução de tarefas) (Dumery, Grounauer, & Van Toi, 2010). Sucintamente, a fadiga pode ser causada por fatores de índole ocupacional (processo/logística do trabalho, carga de trabalho, ambiente do trabalho), fatores relacionados com a organização do trabalho (período de trabalho, período de descanso, rotação de trabalhadores, longas horas de trabalho, realização de tarefas monótonas com falta de estímulos, horário de trabalho irregular) e fatores individuais (uso de medicação, distúrbios/padrão de sono, ambiente familiar, *stress*, saúde, estilo de vida, atividades físicas, alimentação) (Novacek⁴, 2003; SafetyNet, 2009). Uma vez instalada a fadiga no trabalhador, verifica-se uma redução do seu estado de alerta e desempenho e, conseqüentemente, da vigilância sustentada, memória, tempo de reação, tomada de decisão e saúde. Como a fadiga está relacionada com o ritmo circadiano, tem igualmente um efeito direto na motivação da realização da tarefa. Outros sintomas comuns são a falta de energia, exaustão, desconforto, aborrecimento, desinteresse pela tarefa, diminuição da perceção e diminuição da capacidade de raciocínio (Nahas, 2001; SafetyNet, 2009), sintomas estes também comumente associados a estados depressivos.

A interação de processos de desativação (menor atenção por parte do trabalhador) e a respetiva contrapartida obtida pela perceção do esforço/processos compensatórios, ambos resultantes da fadiga, fazem com que a *performance* do indivíduo se torne variável ou instável, afetando assim a produtividade. Mas a fadiga não é um simples processo passivo (Stern & Skelly, 1984; SafetyNet, 2009), isto é, um indivíduo pode fazer um esforço acrescido para conseguir executar dada tarefa, compensando a fadiga com esse esforço extra.

A diminuição do estado de alerta associado à existência de fadiga é uma preocupação constante na execução de tarefas que exigem um acompanhamento contínuo realizado por um trabalhador (Van Orden, Jung, & Makeig, 2000), uma vez que pode provocar situações de risco e prejudicar a segurança e bem-estar do trabalhador. Um caso paradigmático é o da prevenção e segurança rodoviária que constitui uma prioridade da política de transportes da União Europeia (UE). No entanto, na UE morrem anualmente cerca de 800 condutores de pesados em acidentes rodoviários. Os níveis de atenção e alerta dos trabalhadores podem ser significativamente reduzidos e os sintomas de fadiga acentuarem-se devido às dificuldades de repouso diurno e à dessincronização dos ritmos biológicos nomeadamente associados a turnos longos, horários

³ SafetyNet (2009) Fatigue, acedido a 10 de março de 2014, em:

http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/pdf/fatigue.pdf

⁴ Novacek, P. (2003). Design displays for better pilot reaction (PDF) 44-47. Avionics News. Acedido a 25 de março de 2014, em: www.aea.net/AvionicsNews/ANArchives/DesignDisplayOct03.pdf

irregulares e existência de perturbações do sono (SafetyNet, 2009; EASHW⁵, 2011). Para além de condutores de veículos pesados, também taxistas, médicos, pilotos, controladores de tráfego aéreo, utilizadores frequentes de monitor e operadores de máquinas são exemplos de profissões que podem ser muito afetadas pela fadiga, diminuindo assim a *performance* e segurança dos trabalhadores (SafetyNet, 2009).

A utilização de um sistema de monitorização de fadiga constitui um assunto de grande interesse na área da Higiene e Segurança Ocupacionais, já que pode ser usado em muitas áreas profissionais onde a atenção do trabalhador é um fator essencial à realização fiável de tarefas (Dasari, Crowe, Ling, Zhu, & Ding, 2010; Kurylyak, Lamonaca, & Mirabelli, 2012; Iampetch, Punsawad, & Wongsawat, 2012). Qualquer melhoria associada aos fatores humanos contribui para a diminuição de fadiga, para a redução da ocorrência de falhas humanas e para o aumento do controlo da segurança e rendimento do trabalhador (Tanabe et al., 2007; Iampetch et al., 2012).

A utilização de técnicas como a eletroencefalografia (Makeig & Jung, 1996), eletrooculografia (McGregor & Stern, 1996) e o recurso a medidas de atividade ocular (Stern & Skelly, 1984), têm sido propostas como métodos de deteção do estado de fadiga, uma vez que a fadiga está associada a mudanças fisiológicas na atividade das ondas cerebrais, movimento dos olhos, movimento da cabeça e frequência cardíaca.

Das principais medidas de atividade ocular, destaca-se o pestanejar, que se pensa ser o melhor refletor dos processos de fadiga mental (Stern, Boyer, & Schroeder, 1994; Iampetch et al., 2012). Alguns investigadores deparam-se de um modo indireto com o pestanejar, uma vez que a existência destes artefactos oculares causa interferências com os canais frontais, dificultando a interpretação e análise do eletroencefalograma (EEG). Essa contaminação de sinal é devida sobretudo ao facto dos artefactos oculares possuírem uma amplitude maior do que os restantes sinais cerebrais, provocando uma mudança nos campos elétricos que envolvem os olhos, distorcendo e produzindo assim um sinal elétrico que se propaga no escalpe (Yandong, Zhongwei, Wenkai, & Yanda, 2006; Dumery et al., 2010; Dasari et al., 2010; Gao, Yang, Lin, Wang, Zheng, 2010; Samavati, Nasrabadi, & Mohammadi, 2012; Szibbo, Luo, & Sullivan, 2012; Soomro, Badruddin, Yusoff, & Malik, 2013). Nesta perspetiva, é desejável a sua remoção sem distorcer os sinais cerebrais subjacentes, existindo vários métodos propostos para esse efeito (Yandong et al., 2006).

Tendo em conta:

- a influência do estado de fadiga e do ambiente térmico no desempenho psico-motor de um indivíduo, principalmente em meio laboral;
- o facto de o pestanejar ser considerado um indicador do estado de fadiga e esforço mental e, paralelamente, ser considerado um artefacto sujeito a remoção nos registos de EEG;

surgiu a ideia de avaliar a possibilidade de isolar a componente normalmente rejeitada do pestanejar nos sinais EEG, para a sua posterior caracterização e estudo como indicador de fadiga, constituindo este um dos principais objetivos da presente dissertação.

Assim, foi elaborado e desenvolvido um programa de trabalho, envolvendo ensaios cognitivos, realizados por voluntários monitorizados numa Câmara Climática, em diferentes condições ambientais de temperatura e humidade. A componente do pestanejar foi captada diretamente com recurso a uma câmara Web tendo-se também ensaiado isolar a sua presença nos sinais EEG – após identificação dos componentes mais afetados pela presença de pestanejar e canais com eles relacionados – através de subtração dos respetivos sinais originais pelos sinais nos quais supostamente se procedeu à remoção da componente do pestanejar via aplicação da metodologia ICA. De seguida procedeu-se a uma interpretação e caracterização da componente do pestanejar

⁵ EASHW (European Agency for Safety and Health at Work) (2011). OSH in Figures: Occupational Safety and Health in the Transport Sector – An Overview. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Acedido a 3 de março, 2014, em https://osha.europa.eu/en/publications/reports/transport-sector_TERO10001ENC

identificada diretamente via câmara Web e a uma avaliação exploratória e conservativa do seu nível de correlação através da sua identificação nos sinais EEG após a referida operação de subtração.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Noções básicas

Seguindo a linha de pensamento do capítulo anterior, pretende-se com o presente subcapítulo apresentar e definir alguns dos conceitos gerais abordados, para uma melhor clarificação da informação e definição ineludível das noções básicas da especialidade, à luz do conhecimento atual.

Ambiente térmico

A partir da década de oitenta, a grande maioria dos estudos relacionados com conforto térmico tiveram por base os trabalhos de Fanger (1972). A existência de desconforto térmico pode ser demonstrada pela insatisfação dos indivíduos perante um ambiente considerado quente ou frio (ISO 7730:2005). Deste modo, é de todo o interesse que seja feita a caracterização da percepção global do ambiente, em termos de sensação térmica e conforto térmico.

Considera-se que um ambiente é neutro ou confortável quando a igualdade dos fluxos de calor ocorre de forma não gravosa e agradável. Um ambiente térmico quente é aquele em que o balanço térmico, calculado na base das trocas de calor por radiação e convecção, é positivo (Miguel, 2007). Quanto mais o ambiente térmico se afasta da zona de neutralidade, mais as alterações fisiológicas se acentuam até atingirem um nível máximo, a partir do qual a manutenção da temperatura corporal não é mais assegurada. O *stress* térmico pode ser causado por um aumento do metabolismo, pelo aumento da temperatura do ar e da humidade relativa. Para reequilibrar o balanço térmico em ambiente quente, o organismo reage por sobrecargas fisiológicas verificando-se o aumento acentuado da temperatura da pele e da temperatura interna do corpo. Um ambiente frio é considerado um ambiente térmico em que o balanço térmico é negativo, ocorrendo a diminuição da temperatura da pele (Miguel, 2007).

Análise de Componentes Independentes – ICA

O método ICA – *Independent Component Analysis* (Análise de Componentes Independentes) – separa componentes ou fontes mutuamente independentes, independentemente da sua eventual coincidência espectral. É um método estatístico que realiza uma separação algorítmica para a transformação linear da informação, assumindo que os componentes são estatisticamente independentes (Yandong al., 2006). Quando se aplica ICA aos dados de EEG, existem componentes independentes (IC) que apresentam características que se assemelham a artefactos, pelo que este é um método muito utilizado para filtragem de artefactos oculares.

Vigilância

Pode definir-se vigilância ou atenção contínua como sendo a capacidade de manter um determinado nível de concentração necessário à deteção e resposta a sinais imprevisíveis ou eventos, durante um longo período de tempo (SafetyNet, 2009). A dissociação entre a vigilância e outros componentes da atenção sugere uma forte relação entre esta última variável e as variáveis *stress* e fadiga (Schleicher, Galley, Briest, & Galley, 2008).

Fadiga

A fadiga pode ser caracterizada como uma sensação subjetiva de cansaço, fraqueza ou falta de energia e relaciona-se com exaustão, especialmente a dos músculos.

A fadiga pode ser uma resposta normal da atividade física, *stress* emocional, tédio ou falta de sono; é um sintoma comum, multidimensional, complexo o qual compreende aspetos cognitivos, físicos e emocionais. Mas pode ser um sinal de uma condição física ou mental mais grave. Quando a fadiga não é suficientemente aliviada pelo sono, uma boa alimentação, ou um ambiente de menor *stress*, deve ser sujeita a avaliação médica.

O conceito de fadiga (ver Introdução, página 4) pode ser dividido em duas dimensões, em particular, a fadiga física e a fadiga mental. A fadiga física resulta da redução da capacidade de executar trabalho físico e da perda de força muscular, velocidade e agilidade, limitando o executar de tarefas físicas (Stern et al., 1994). A fadiga mental resulta da falta de energia cerebral e é a maior consequência de tarefas exigentes e repetitivas durante longos períodos de tempo, resultando na diminuição da percepção visual, precisão, concentração, atenção, capacidade de reação e no aumento do tempo para processamento de informação (Stern et al., 1994; Dasari et al., 2010; Iampetch et al., 2012). A fadiga pode ainda dividir-se em dois níveis temporais: fadiga aguda, de curta duração, resultante de uma intensa carga mental ou atividade física, que degrada a atenção, concentração, coordenação e poder de decisão; e fadiga crónica, de longa duração, caracterizada por exaustão mental, acumulada ao longo do tempo (Novacek, 2003).

A fadiga pode desenvolver-se em três possíveis locais: sistema nervoso, músculos e junção neuromuscular (Seeley, Stephens & Tate, 2003) e exprime-se através de sintomas subjetivos, diminuições ou flutuações do desempenho e sinais fisiológicos que testemunham uma diminuição das capacidades.

Apesar de os conceitos de fadiga⁶ e sonolência⁷ estarem intimamente relacionados, apresentam significados distintos. A sonolência pode ser caracterizada como sendo o estado em que se sente uma anormal vontade de dormir e em que as pessoas por ela afetadas podem adormecer em momentos e situações inadequadas. Segundo Hsieh & Tai (2013), a sonolência é a transição entre o estado “acordado” e o estado “adormecido”, transição essa durante a qual existe uma reduzida capacidade para analisar e observar. O aumento da tendência para adormecer, representa um risco considerável, uma vez que limita a eficiência no trabalho e aumenta substancialmente o risco de acidente.

Sonolência e fadiga são problemas associados à redução da vigilância, difíceis de controlar (Caffier, Erdmann, & Ullsperger, 2003). Portanto, ao contrário da fadiga, a sonolência interfere com a capacidade de se concentrar, não com o esgotamento dos músculos.

A modificação funcional motivada por esforços excessivos do aparelho visual que leva ao enfraquecimento dos músculos ligados ao globo ocular, responsáveis pelo movimento, fixação e focalização dos olhos, designa-se por fadiga visual (Seeley et al., 2003). A fadiga visual, também conhecida como Síndrome Visual do Utilizador de Computador ou CVS (Computer Vision Syndrome), atinge entre 70 e 90% dos operadores de materiais informáticos. A utilização intensiva de computadores diminui a frequência do pestanejar de olhos, em média, menos de cinco vezes por minuto – aumentando os sintomas do olho seco e da fadiga ocular, causando dores de cabeça, visão turva, sensibilidade à luz e irritação ocular (Rozanova, Heilig, & Godnic-Cvar, 2009).

⁶ Fadiga, acessado a 25 de junho de 2014 em: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/003088.htm>

⁷ Sonolência, acessado a 25 de junho de 2014 em: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/003208.htm>

Pestanejar

O sistema visual inclui os olhos, estruturas acessórias e nervos, feixes e vias óticas (Seeley et al., 2003). As estruturas acessórias como as sobrancelhas, pálpebras, membrana conjuntiva, aparelho lacrimal e músculos extrínsecos do olho, protegem, lubrificam, movem e auxiliam no funcionamento do olho.

As pálpebras são constituídas por cinco camadas de tecido e, juntamente com as pestanas que lhe estão associadas, protegem os olhos de objetos estranhos. O espaço entre as duas pálpebras denomina-se fenda palpebral (Jacob, Francone, & Losson, 1990; Seeley et al., 2003). Se um objeto se aproximar subitamente do olho, as pálpebras protegem-no, ocluindo rapidamente a fenda palpebral e abrindo-a em seguida (pestanejar reflexo).

Para além do pestanejar reflexo (que resulta de um movimento rápido das pálpebras, de curta duração, que não requer o envolvimento de estruturas do córtex cerebral), o pestanejar dos olhos pode ainda ser classificado em pestanejar voluntário (resulta de uma decisão consciente de fechar e abrir as pálpebras) e pestanejar espontâneo, que ocorre sem qualquer estímulo externo e que está associado com o estado psicofisiológico da pessoa (Stern et al., 1994; Acosta, Gallar, & Belmonte, 1999).

O estudo do pestanejar e da sua funcionalidade desde há muito tempo que desencadearam a curiosidade no mundo científico por se tratar de um fenómeno que se acredita ser o reflexo da influência de processos nervosos complexos (Schleicher et al. 2008; Pedrotti, Lei, Dzaack, & Rotting, 2011; Desai, 2012).

O pestanejar é uma função essencial do olho que contribui para a manutenção da superfície ocular: permite a lubrificação do olho ao espalhar uniformemente a lágrima pela superfície ocular como uma fina película – o filme lacrimal – prevenindo a secura e a limpeza da superfície da córnea; protege o olho (superfície da córnea e conjuntiva) de agentes estranhos como poeiras, assim como da contínua exposição solar; e alivia a fadiga inicial ao permitir que músculos oculares em tensão se reorganizem (Clapp & Hively, 1997; Seeley et al., 2003; Desai, 2012; Wascher, Heppner, & Hoffmann, 2014). As lágrimas são secretadas pelas glândulas lacrimais principais e acessórias. O filme lacrimal é uma estrutura importante para assegurar a integridade da superfície da córnea e membrana conjuntiva. A incapacidade de pestanejar e a inexistência de lágrima leva à secura da córnea, situação que, se não for tratada, pode levar à cegueira (Seeley et al., 2003).

Além de ser considerado um artefacto ocular nos sinais do EEG, o pestanejar é uma boa fonte de informação fisiológica e comportamental relacionada com a cognição (refletindo processos cognitivos), sendo também um indicador de momentos particulares do processamento de informação (Wascher et al., 2014; Chen & Epps, 2013).

O pestanejar ocorre cerca de 25 vezes por minuto (Seeley et al., 2003), podendo a sua duração variar normalmente entre 100-400 ms (Desai, 2012); no entanto, encontra-se dependente de fatores extrínsecos à sua ocorrência, tais como a temperatura, a humidade relativa e as diferentes condições de iluminação (Clapp et al., 1997; Wolkoff & Kjærgaard, 2007). Alguns autores referem que a elevada humidade relativa reduz a frequência do pestanejar (Kay et al., 1990; Tsubota et al., 1997); outros trabalhos sugerem concretamente que a humidade relativa abaixo de 20% pode ter efeitos indesejáveis sobre este parâmetro do pestanejar (Clements-Croome, 2008; Rozanova et al., 2009), e afetam diretamente a estabilidade do filme lacrimal, pelo que consideram que um intervalo de humidade relativa de 40-60% é aceitável (Clements-Croome, 2008). O aumento da evaporação da lágrima pode ser causado por fatores térmicos (baixa humidade relativa, temperatura ambiente elevada), tarefas exigentes (a concentração diminui o pestanejar e amplia a área da superfície ocular exposta), e características individuais (Wolkoff, Nojgaard, Troiano, & Piccoli, 2005). Deve ter-se ainda em atenção o facto de que cada individuo apresenta um padrão específico de pestanejar, existindo uma variabilidade intra e interindividual

de grau variável (Stern et al., 1994; Caffier et al., 2003; Schleicher et al., 2008; Benedetto, Pedrotti, Minin, Baccino, Re, & Montanari, 2011).

A frequência do pestanejar é o valor médio de pestanejos por minuto (Wascher et al., 2014). Pensa-se que a frequência do pestanejar é um indicador de fadiga e esforço mental (Stern et al., 1994; Clapp et al., 1997), sendo utilizado na sua detecção e monitorização, isto é, as mudanças na frequência e duração do pestanejar podem ser interpretadas como indicadores de fadiga (Clapp et al., 1997).

Também segundo a literatura da especialidade, o pestanejar está associado a um processo de detecção da mentira: no momento da mentira ocorre normalmente uma diminuição da frequência do pestanejar, após a mentira ter sido dita verifica-se um efeito compensatório, que se refletirá num aumento do pestanejar (Holland & Tarlow, 1972; Goldstein, Bauer & Stern, 1992).

A Figura 1 representa a esquematização dos parâmetros relativos ao pestanejar, nomeadamente o seu pico de amplitude e a sua duração (o tempo que as pálpebras demoram a fechar, o tempo em que permanecem fechadas e o tempo da sua reabertura).

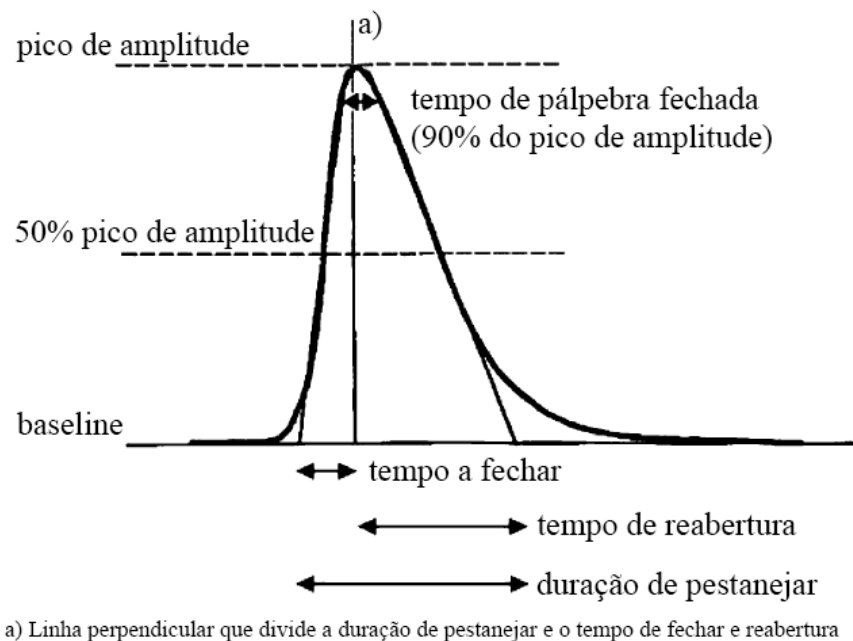


Figura 1: Características do pestanejar (Adaptado de Caffier et al. 2003).

Sistema nervoso

O sistema nervoso é responsável pelas perceções sensoriais, atividade mental, estimulação de movimentos dos músculos e estimulação de secreção de diversas glândulas, mantendo igualmente a homeostasia (manutenção do estado de equilíbrio) pela regulação de outros sistemas. É constituído por células não neuronais e por neurónios - células nervosas que recebem estímulos e transmitem os potenciais de ação para outros neurónios ou para os órgãos efetores. O potencial de ação consiste numa grande modificação da permeabilidade de membrana que se propaga por uma longa distância ao longo da membrana celular, sem alteração da sua amplitude (Seeley et al., 2003). O sistema nervoso encontra-se ainda dividido em sistema nervoso central (SNC) e em sistema nervoso periférico (SNP). O SNP é exterior ao SNC sendo constituído por nervos, recetores sensoriais, gânglios e plexos, e por duas subdivisões. Na divisão aferente ou sensorial ocorre a transmissão de potenciais de ação, dos recetores sensoriais ao SNC, através dos neurónios sensoriais. A divisão eferente ou motora transmite os potenciais de ação do SNC aos órgãos efetores, como músculos e glândulas, pelos neurónios motores (Seeley et al., 2003).

O SNC é composto pelo encéfalo e medula espinhal, que são protegidos pelos ossos que os rodeiam. A medula espinhal encontra-se no interior do canal raquidiano, formado pelas vértebras. O encéfalo é um órgão ímpar e o centro das atividades mentais, incluindo a consciência, o pensamento, a memória e as emoções. Encontra-se localizado no interior da caixa craniana. A maior parte da superfície do crânio é coberta por uma fina camada de pele, o couro cabeludo (escalpe). O córtex cerebral é a região mais extensa do encéfalo encontrando-se imediatamente sob os ossos do crânio (Seeley et al., 2003).

O córtex cerebral é dividido em áreas denominadas lobos cerebrais, cada uma com funções diferenciadas que geram e processam vários tipos de informação (Figura 2): o lobo parietal é o principal centro de receção e avaliação de informação sensorial; o lobo frontal é importante na função motora voluntária; o lobo temporal recebe e avalia os estímulos olfativos e auditivos; e o lobo occipital processa informação visual e atua na receção e integração de estímulos visuais (Seeley et al., 2003).

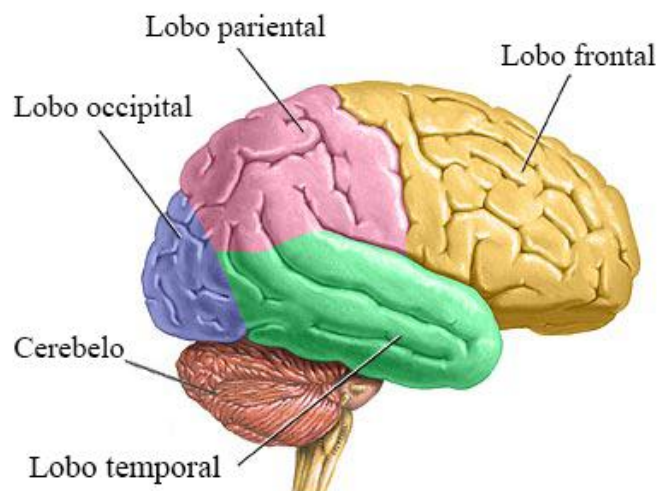


Figura 2: Identificação dos Lobos Cerebrais

A Eletroencefalografia é uma técnica de registo eletrofisiológico, na qual ocorre a gravação de potenciais elétricos do escalpe humano, resultado de potenciais pós-sinápticos excitatórios e inibitórios (Kar, Bhagat, & Routray, 2010). As células do córtex humano geram potenciais elétricos que podem ser medidos através do crânio e são a base da eletroencefalografia (Jacob et al., 1990). O registo de atividade cerebral obtido com o uso de elétrodos denomina-se Eletroencefalograma - EEG (Jacob et al., 1990). Dado que o córtex cerebral está imediatamente abaixo dos ossos do crânio, a colocação dos elétrodos no couro cabeludo das várias regiões do crânio pode detetar atividade elétrica associada ao funcionamento dos neurónios (Seeley et al., 2003). Evidenciam-se no EEG padrões ondulatórios conhecidos por ondas cerebrais. As ondas cerebrais são produzidas de forma contínua, contudo a sua intensidade e frequência difere conforme o estado da atividade cerebral. Torna-se possível distinguir no EEG ondas simples e periódicas apenas se um determinado influxo para uma região se encontrar sincronizado com a ocorrência simultânea de atividade elétrica (Seeley et al., 2003).

As quatro ondas simples e periódicas registados no EEG são as ondas alfa, beta, delta e teta, e distinguem-se pela frequência (Hz ou ciclos/segundo) e pela sua amplitude na ordem dos microvolts (μV):

- Alfa – Frequência 8-13Hz e Amplitude 20-200 μV ;
- Beta – Frequência 13-30Hz e Amplitude 5-10 μV ;
- Teta – Frequência 4-8Hz e Amplitude 10uV;

- Delta – Frequência 1-4Hz e Amplitude 20-200 μ V.

A onda alfa assume proeminência no EEG de adultos acordados, relaxados, imóveis, e com olhos fechados. As ondas alfa de maior amplitude são obtidas nas regiões parietal e occipital do córtex. A amplitude das ondas alfa varia com a atenção do sujeito no desenvolvimento de tarefas mentais com os olhos fechados e diminui quando os olhos são abertos e a atenção é focada para estímulos externos (Seeley et al., 2003). As ondas beta ocorrem em indivíduos em estado de alerta ou atentos a estímulos externos, bem como na realização de atividade mental específica e durante as fases de sono REM (Rapid Eye Movement). A sua frequência é superior à das ondas alfa e ocorrem durante a atividade mental intensa. A amplitude das ondas beta é inferior às ondas alfa, o que não significa que exista menor atividade elétrica. Pelo contrário, em vez de um padrão sincronizado de ondas alfa, ocorre um estado de não sincronização ou bloqueio de alfa (Seeley et al., 2003). Em geral, a amplitude das ondas delta e teta apresenta uma grande variabilidade. Estas ondas exibem padrões de baixa frequência e aumentam durante o sono em adultos normais. As ondas teta aparecem por curtos intervalos durante respostas emocionais a eventos ou situações frustrantes, ocorrendo normalmente em crianças mas podendo também ocorrer em adultos quando estes sentem frustração ou sofrem determinadas perturbações mentais. As ondas delta podem aumentar durante atividades com elevado grau de dificuldade que exijam concentração, durante o sono profundo, na infância e em doentes com perturbações cerebrais graves. A análise de EEG, devido à influência de distintas funções cognitivas, pode decifrar efeitos como exigência atencional, motivação ou fadiga (Wascher et al., 2014). As regiões frontais e occipitais do cérebro são importantes para a classificação da fadiga mental a diferentes níveis. As amplitudes dos sinais EEG no estado de fadiga são maiores que no estado de alerta (Iampetch et al., 2012). Em alguns estudos o desaparecimento da atividade alfa em detrimento da atividade teta e/ou delta é vista como crucial (Hsieh & Tai, 2013; Wright, Badia, & Wauquier, 1995).

A Eletrooculografia (EOG) é outra das restantes técnicas de registo eletrofisiológico, com a principal função de medir a mudança de potencial elétrico entre a retina e a córnea (a córnea é positiva em relação à retina), através da colocação de três eléctrodos, dois na parte superior e inferior do mesmo olho e outro colocado na testa para referência. A amplitude do sinal adquirido pelos eléctrodos, depois de filtrado e amplificado, é diretamente proporcional à amplitude do movimento do olho. O Electroculograma (EOG) é muito utilizado para medir movimentos oculares rápidos e involuntários, sendo um dos métodos mais usados em estudos relacionados com o sono. Alguns inconvenientes associados a esta técnica relacionam-se com o facto de ser invasiva, necessitar de laboratório e a cabeça ter de estar imobilizada.

A utilização de um *Eye Tracker* (dispositivo de filmagem do movimento ocular) tem-se vindo a generalizar. A técnica de *Eye Tracking* tem a capacidade de medir o movimento ocular em relação a estímulos projectados num ambiente visual, com aplicações em diversas áreas de estudo, de um modo não intrusivo. A aplicação de *Eye Tracking* a movimentos do olho através da utilização de imagens de vídeo das pupilas e da retina é uma abordagem de baixo custo e com grande potencial. A utilização de fontes de luz fixas permite obter o reflexo da luz sobre o olho, utilizando-se no mínimo dois pontos de luz para iluminar a pupila e a córnea. (Noureddin, Lawrence, & Birch, 2012).

2.2 Conhecimento Científico

A pesquisa bibliográfica teve por base a metodologia de revisão sistemática referenciada em *PRISMA Statement*⁸, por ser um método preciso e fiável, permitindo responder a uma pergunta específica através da identificação, seleção e análise dos dados de estudos incluídos na revisão, e de modo a garantir a reprodutibilidade e rastreabilidade da pesquisa bibliográfica.

A pesquisa inicial da bibliografia centrou-se na documentação disponível no SDI - Serviço de Documentação e Informação da FEUP, através de uma pesquisa integrada na base de dados sob a forma de Meta Pesquisa. Foi definido que os tipos de recurso a utilizar seriam “Revistas Científicas” e “Bases de Dados”. A pesquisa foi realizada separadamente para cada tipo de recurso, nas 34 revistas científicas associadas e nas 28 bases de dados. Na opção “Avançadas”, selecionou-se o campo “Título”, a “palavra-chave”, “AND”, “Título” e “palavra-chave”.

2.2.1 Processo de seleção de artigos

Com a definição das palavras-chave iniciais pretendeu-se limitar a busca ao tema em estudo. Assim, os termos “Eye blink”, “EEG”, “Blink”, “Artifact”, “Rate”, “Fatigue”, “Frequency”, “Blink frequency”, “VÍdeo”, “Image capture”, “Environmental conditions”, “Mental load”, “Temperature”, “Relative Humidity”, foram os termos base utilizados na pesquisa, combinados entre si da seguinte forma: (“Eye blink” AND “EEG”), (“Blink” AND “EEG”), (“Blink” AND “Artifact”), (“Frequency” AND “Blink”), (“Eye blink” AND “Fatigue”), (“Eye blink” AND “Rate”), (“Blink frequency” AND “Fatigue”), (“EEG” AND “Fatigue”), (“Eye blink” AND “VÍdeo”), (“Blink” AND “Image capture”), (“Blink” AND “Environmental conditions”), (“Blink” AND “Mental load”), (“Blink” AND “Temperature”), (“Blink” AND “Relative Humidity”). Foram assim identificados no total 2111 artigos.

Os artigos duplicados, resultantes das buscas nos distintos recursos, foram removidos do conjunto de artigos analisados, num total de 904 artigos. Seguidamente procedeu-se à triagem de artigos de modo a restringir os resultados de maior interesse, através da aplicação de critérios de exclusão. Assim, foram excluídos: todos os artigos anteriores ao ano de 2010, exclusivamente (800); artigos cujo título não se enquadrava no tema (237); artigos que após a leitura do resumo se verificou a sua inadequabilidade para o estudo em questão (130); exclusão por se encontrarem escritos numa língua que não o inglês e português (3); não inclusão por indisponibilidade do título (0) e do resumo (0). Com a exclusão dos artigos segundo estes critérios, obtiveram-se 37 artigos.

De modo a expandir os campos da pesquisa, procedeu-se à conjugação das palavras-chave dos 37 artigos primeiramente triados, nomeadamente, “Cognitive load”, “Video display terminal”, “Fatigue detection”, “EOG”, “High frame rate camera”, “High-speed camera”, “Image processing”, com as palavras-chave inicialmente definidas, do seguinte modo: (“Eye blink” AND “Cognitive load”), (“Eye blink” AND “Video display terminal”), (“Eye blink” AND “Fatigue detection”), (“Blink detection” AND “Duration”), (“Eye blink” AND “EOG”), (“Eye blink” AND “High frame rate camera”), (“Eye blink” AND “High-speed camera”), (“Eye blink” AND “Image processing”).

Desta combinação de palavras-chave, resultaram 119 artigos, dos quais 25 eram repetidos, 64 eram anteriores ao ano de 2010, 2 continham um título não relacionado com o tema e 1 excluído após a leitura do resumo. Da eliminação dos artigos repetidos e da aplicação dos critérios de exclusão obtiveram-se 27 artigos, que juntamente com os 37 artigos inicialmente obtidos perfazem 64 artigos com texto integral para aplicação de critérios de elegibilidade.

Os 64 artigos foram sujeitos a uma análise cuidada, tendo sido aplicados critérios de elegibilidade, baseados na adequabilidade ao foco da pesquisa do conteúdo de cada artigo.

⁸ <http://www.prisma-statement.org/> (acedido em 28/12/2013)

Deste modo, foram elegíveis somente todos os artigos que abordavam, simultaneamente, a temática da fadiga mental e/ou carga de trabalho mental, que realizavam detecção do pestanejar dos olhos e que realizavam análises EEG e/ou EOG (6), assim como todos os artigos que abordavam a fadiga mental e/ou carga de trabalho mental e a sua relação com o pestanejar dos olhos (7), perfazendo um total de 13 artigos. Seguidamente, procedeu-se ao visionamento das referências bibliográficas dos 13 artigos finais, tendo-se selecionado 23 artigos com possível interesse para o presente tema, tendo como base a relação do seu título e o pestanejar dos olhos. Destes 23 artigos foram excluídos 12 artigos pelo facto do seu resumo não se adequar ao tema e 3 artigos por realizarem análise EEG e abordarem o pestanejar dos olhos, mas sem relação com fadiga mental e/ou carga de trabalho mental. Assim, no total, nesta fase, foram obtidos 8 artigos através da aplicação de critérios de exclusão e elegibilidade estabelecidos na estratégia de busca descrita, dos quais apenas 2 artigos abordavam, simultaneamente, a temática da fadiga mental e/ou carga de trabalho mental, realizavam detecção do pestanejar dos olhos e realizavam análises EEG e/ou EOG, e os restantes abordavam a detecção do pestanejar dos olhos e a sua relação com a fadiga mental e/ou carga de trabalho mental (6). Estes 8 artigos, juntamente com os 13 obtidos anteriormente, completam um total de 21 artigos. A revisão sistemática sobre a presente temática será baseada unicamente nos resultados dos 21 artigos selecionados, estudos incluídos na síntese quantitativa (meta-análise). Nestes 21 artigos, 13 autores procederam a uma abordagem simultânea sobre a detecção do pestanejar dos olhos e a sua relação com a fadiga mental; e 8 autores abordaram, simultaneamente, a temática da detecção do pestanejar dos olhos e a carga mental. Destes artigos, 1 realizava análise de EEG, 4 procederam às análises de EEG e EOG, simultaneamente, e 5 realizam análise de EOG. Os 2253 artigos resultantes de toda a pesquisa foram obtidos em 12 revistas científicas e em 12 bases de dados, nomeadamente *IEEE Xplore*, *Informaworld* (Taylor and Francis), *ScienceDirect*, *PubMed*, *Springer* e *Web of Science* (Gráfico 1).

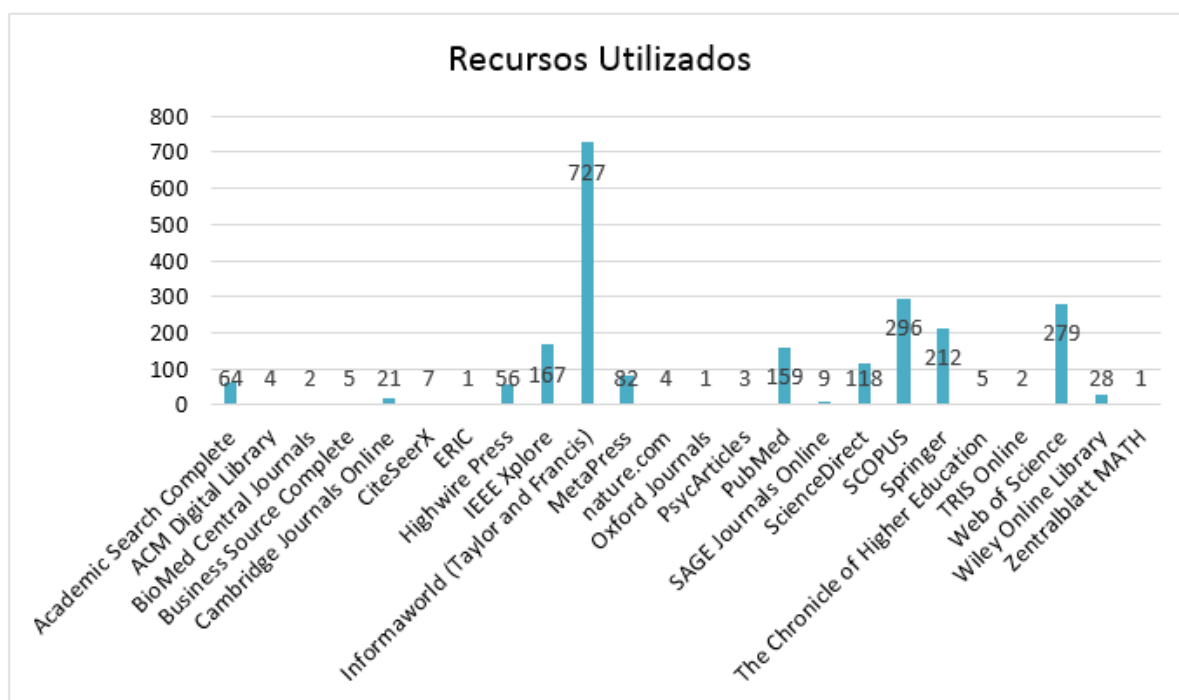


Gráfico 1: Recursos utilizados na pesquisa bibliográfica relativos a revistas científicas e bases de dados.

A Figura 3 corresponde a um diagrama de fluxo relativo à metodologia de revisão sistemática baseada em *Prisma Statment*, que sintetiza todas as etapas executadas e o número de resultados obtidos

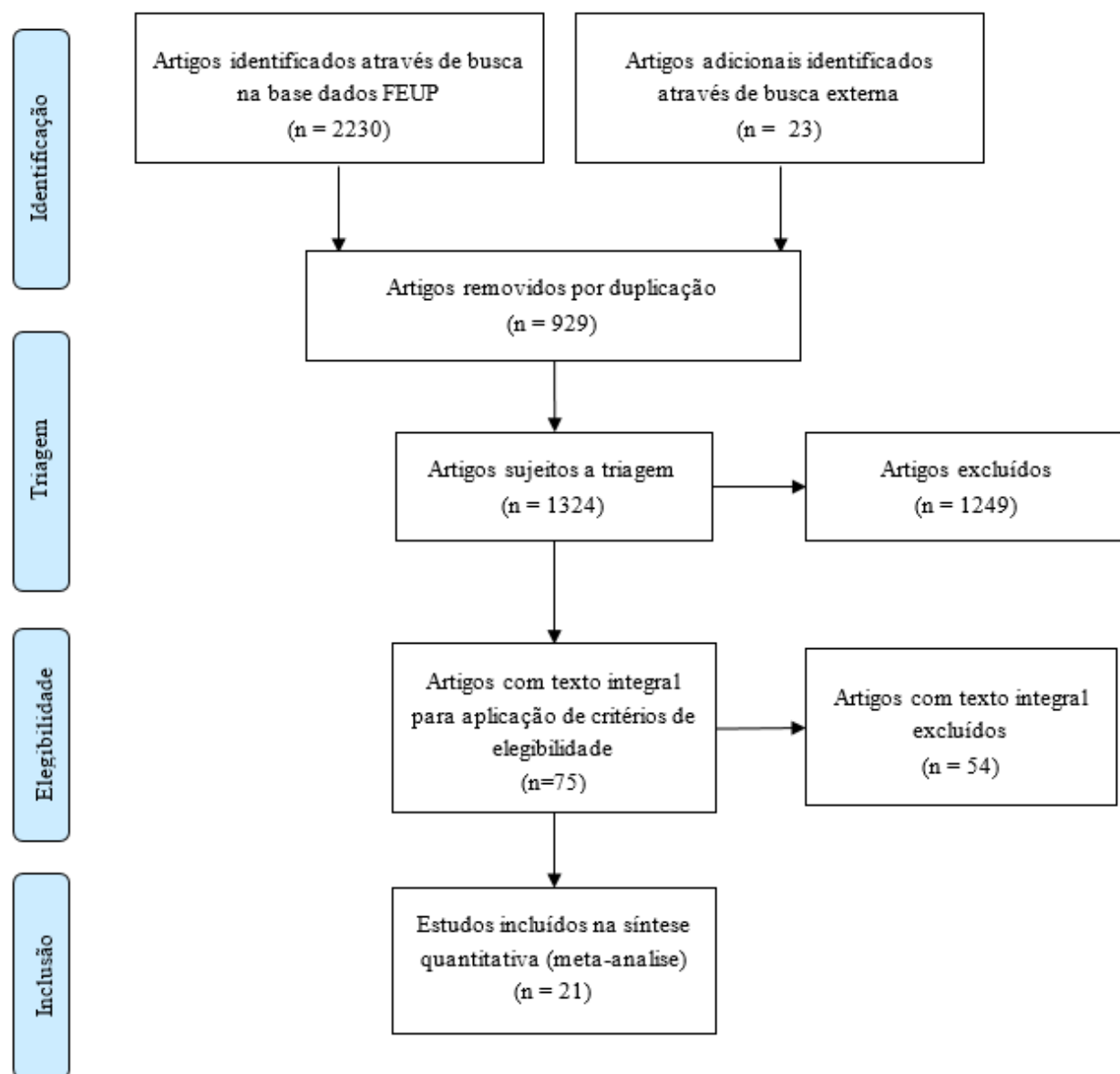


Figura 3: Diagrama de fluxo relativo à metodologia de revisão sistemática baseada em *Prisma Statment*

O conteúdo dos 21 artigos seleccionados pode ser verificado nas tabelas-resumo Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 1: Caracterização geral dos estudos incluídos

Autores	País	Consentimento informado	Comissão de ética	Exame médico	Tamanho da população	Duração do ensaio	Dados demográficos da população	Idade (anos)
Benedetto et al. (2011)	Itália	sim	-	-	15	-	Condutores, visão normal ou corrigida para normal	31±4
Borghini et al. (2012)	Bélgica	-	-	-	-	Dois dias, 14h-17h	Experiência em condução	-
Caffier et al. (2003)	Alemanha	sim	-	-	60	20 min	Saudáveis	31.9 (16-64)
Chen et al. (2013)	Austrália	-	-	-	22	2h	-	-
Fukuda et al. (2005)	EUA	sim	sim	-	8	60 min	Estudantes universitários	20 ± 2
Holland & Tarlow (1972)	EUA	-	-	-	25	-	Estudantes universitários	18-21
Hsieh & Tai (2013)	Taiwan	-	-	-	30	-	-	-
Jiang et al. (2013)	Canadá	-	-	-	5	-	-	-
Kim et al. (2011)	Coreia	-	-	-	2	20 min	-	-
Kurylyak et al. (2012)	Itália	-	-	-	5	Às 10h e meia-noite	-	-
McIntire et al. (2014)	EUA	sim	sim	-	19	40 min	Militares e civis, saudáveis, sem utilização de óculos	26.89 (19-41)
Morris & Miller (1996)	EUA	sim	sim	-	10	4,5h	Pilotos da Força Aérea, treinados, visão normal, sem lentes de contacto, saudáveis	36.1 (25-42)
Nakano et al. (2009)	Japão	sim	-	-	18	-	Saudáveis, visão normal ou corrigida para normal	22-31
Pedrotti et al. (2011)	Itália	-	-	-	24	30 min	Estudantes universitários	26±4
Recarte et al. (2008)	Espanha	-	-	-	29	-	Estudantes universitários	18-23
Schleicher et al. (2008)	Alemanha	-	-	-	138	2h	-	33.4 ± 11.5
Stern et al. (1994)	EUA	-	-	-	-	-	-	-
Van Orden et al. (2000)	EUA	sim	-	-	29	2h	-	23.1
Wascher et al. (2014)	Alemanha	sim	sim	-	10	160 min	Saudáveis, visão normal ou corrigida para normal	23.5
Wilson et al. (1994)	EUA	-	-	-	10	-	Pilotos F-4, com experiência	-
Zheng et al. (2012)	Canada	sim	-	-	23	-	Cirurgiões com vários níveis de experiência	34.8 ± 9.3

Tabela 2: Caracterização geral da Fadiga/Carga Mental e análise EEG/EOG nos estudos incluídos

Autores	Fadiga/ Carga Mental	EEG/EOG				
		Análise EEG/EOG	Filtragem	Sistema elétrodos	Canais analisados	Ondas cerebrais analisadas
Benedetto et al. (2011)	Carga mental	-	-	-	-	-
Borghini et al. (2012)	Fadiga	EEG	50Hz; 40 Hz (passa-baixo); 1 Hz (passa-alto)	-	61 canais (F3, Fz, F4, P3, Pz F3/P3, F4/P4, Fz/Pz)	alfa, teta
Caffier et al. (2003)	Fadiga	-	-	-	-	-
Chen et al. (2013)	Carga mental	-	-	-	-	-
Fukuda et al. (2005)	Carga mental	EOG	100 Hz (passa-baixo); 60 Hz.	-	-	-
Holland & Tarlow (1972)	Carga mental	-	-	-	-	-
Hsieh & Tai (2013)	Fadiga	EOG	-	Sistema Equivalente 10-20	Fp1 ou Fp2	alfa, beta, delta, teta
Jiang et al. (2013)	Carga mental	-	-	-	-	-
Kim et al. (2011)	Fadiga	-	-	-	-	-
Kurylyak et al. (2012)	Fadiga	-	-	-	-	-
McIntire et al. (2014)	Fadiga	-	-	-	-	-
Morris & Miller (1996)	Fadiga	EOG	0.05-50 Hz	-	2 canais vertical e horizontal	-
Nakano et al. (2009)	Fadiga	EOG	-	-	-	-
Pedrotti et al. (2011)	Fadiga	EEG+EOG	-	-	EEG 32 canais + 4 canais EOG	-
Recarte et al. (2008)	Carga mental	-	-	-	-	-
Schleicher et al. (2008)	Fadiga	EOG	-	-	-	teta, delta, alfa
Stern et al. (1994)	Fadiga	-	-	-	-	-
Van Orden et al. (2000)	Fadiga	EEG+EOG	-	-	-	-
Wascher et al. (2014)	Carga mental	EEG+EOG	0.5 Hz (passa-alto); 30 Hz (passa-baixo)	-	EEG 28 canais + EOG 6 canais	teta, alfa
Wilson et al. (1994)	Fadiga	EEG+EOG	16 Hz (passa-baixo)	-	5	-
Zheng et al. (2012)	Carga mental	-	-	-	-	-

Tabela 3: Caracterização geral da componente de pestanejar e captação visual

Autores	Deteção	Duração (ms)	Frequência (pestanejo / min)	Captação visual	Dispositivo de filmagem
Benedetto et al. (2011)	sim	152; 132; 137; 128; 133; 167	58; 32; 38; 46; 43; 70	sim	eyetracker (SMI View X HED monocular, na cabeça)
Borghini et al. (2012)	sim	-	-	-	-
Caffier et al. (2003)	sim	202.24 ±6.07 (alerta); 258.57±6.67 (sonolência)	16.33 ±1.64(alerta); 15.8 ±1.79(sonolência)	sim	-
Chen et al. (2013)	sim	-	-	-	Duas câmaras web com dois LED, nos óculos de segurança
Fukuda et al. (2005)	sim	171±54(manhã); 192±55(tarde); 196±43(noite)	-	sim	Câmara de vídeo (LC Technology Eyegaze Development System, Alexandria, VA)
Holland & Tarlow (1972)	sim	-	19.38(testes corretos); 23.33 (testes incorretos)	-	-
Hsieh & Tai (2013)	sim	367 /372	-	sim	Pequena câmara CCD (Dispositivo de Carga Acoplado) no painel do veículo
Jiang et al. (2013)	sim	179 ± 38	6.9 ± 3.2	sim	2 mini-câmaras colocadas no eyetracker (PT-Mini, Locarna System Inc. Victoria BC, Canada)
Kim et al. (2011)	sim	-	Voluntário1: 2D-26.1;3d- 20.2; 3Dplus-19.55; Voluntário2: 2D-13.1; 3D-9.85; 3Dplus- 13.37	sim	Câmara de vídeo infravermelha
Kurylyak et al. (2012)	sim	200-250	-	sim	Câmara Web HP
McIntire et al. (2014)	sim	-	-	sim	Eye-Com (Reno, NV) 2 Câmaras infravermelhas nos óculos
Morris & Miller (1996)	sim	-	-	-	-
Nakano et al. (2009)	sim	-	16.6 (Vídeo 1);24.2 (Descanso); 15.1/16.6/18.2(repetição) 20.0 (Vídeo2); 26.3(audição)	sim	-
Pedrotti et al. (2011)	sim	-	-	sim	Câmara eyetracker (SMIRED)
Recarte et al. (2008)	sim	-	42.66 (tarefa cognitiva)	sim	Câmara de vídeo
Schleicher et al. (2008)	sim	-	-	sim	Câmara de vídeo
Stern et al. (1994)	-	-	-	-	-
Van Orden et al. (2000)	sim	-	-	sim	Câmara de vídeo no vidro refletor; sistema de eye tracking (Applied Sciences Laboratory)
Wascher et al. (2014)	sim	-	25.1±4.68(Tarefa física); 16.43±4.18 (tarefa cognitiva); 14.20±4.44 (Descanso)	-	-
Wilson et al. (1994)	sim	101 ± 3.4	10.7 ± 3.7	-	-
Zheng et al. (2012)	sim	181.2 ± 71.7	6.4 ± 5.8	sim	Óculos com eyetracker (PT-Mini, Locarna System Inc. Victoria BC, Canada), com duas pequenas câmaras

2.2.2 Corpo teórico

A detecção e estudo do pestanejar dos olhos é um assunto interessante e referenciado na literatura, por se tratar de um fenómeno complexo que se julga refletir a influência de processos do sistema nervoso (Bentivoglio et al, 1997). Tem sido demonstrado que parâmetros de atividade ocular como a frequência, a duração e amplitude do pestanejar, são sensíveis ao tempo de execução de uma tarefa. O número de pestanejos costuma variar como função do tempo de execução de uma tarefa, assim como a sua frequência e duração (Stern et al., 1994; Fukuda et al., 2005). O tempo de execução de uma tarefa está ligado indiretamente à diminuição do estado de alerta e de vigília, podendo evoluir para um estado de fadiga mental e sonolência. Deste modo, a componente pestanejar tem sido utilizada ao longo dos anos em diversas áreas, como preditor ou indicador de diferentes estados mentais.

Em 1972, Holland & Tarlow referiram no seu estudo a existência de uma relação inversa entre carga mental e frequência do pestanejar, verificada através da análise de variações na carga mental. A frequência do pestanejar era menor quando a carga mental era elevada, ou seja, ocorria a diminuição do pestanejar na presença de atividade mental concentrada. Quanto maior a dificuldade da tarefa, menor a frequência do pestanejar. Também se verificou que a frequência do pestanejar era maior quando o voluntário errava a resposta do teste, se esquecia do resultado ou desistia do teste. Uma explicação possível seria a perda de carga de memória, pelo que a carga mental sofreria uma diminuição (menor carga mental, maior frequência do pestanejar). Assim, segundo Holland & Tarlow (1972), a frequência do pestanejar está relacionada com a dificuldade ou a dimensão da atividade mental associada à tarefa. A inibição de pestanejar, que ocorre com o aumento da carga mental, deve ser um mecanismo adaptativo que protege os processos cognitivos vulneráveis a interferência. Quanto maior a exigência visual, menor a frequência do pestanejar.

Na revisão bibliográfica elaborada por Stern et al. (1994), este concluiu que a frequência do pestanejar varia como função do tempo de execução da tarefa e que a elevada frequência do pestanejar se encontra relacionada com o cansaço dos olhos. Contudo, também referiu que poderia ser afetada por outros fatores, como a exigência percetiva das tarefas e as variáveis cognitivas. Stern et al. (1994) refere ainda que a inibição do pestanejar é um processo ativo e os processos de fadiga devem interferir com essa inibição. O fechar das pálpebras pode ser um indicador de fadiga bem como o pestanejar de longa duração. Pessoas privadas de sono demonstram efeitos equivalentes aos da realização de uma tarefa de longa duração, mais rapidamente do que pessoas não privadas de sono. Verifica-se a ocorrência do aumento na média da duração do fechar dos olhos durante o tempo de execução da tarefa. A frequência do pestanejar durante a leitura é menor do que em períodos de não-leitura. Para Stern et al. (1994) a frequência do pestanejar é um refletor do tempo de execução da tarefa ou dos efeitos da fadiga, pelo que a frequência do pestanejar é um consistente indicador de fadiga.

No estudo conduzido por Wilson, Fullenkamp, & Davis (1994), procedeu-se à gravação das quatro ondas cerebrais, alfa, beta, delta, teta, bem como do pestanejar, da frequência cardíaca e da respiração, e foi utilizada uma escala de carga de trabalho subjetiva, logo após o término da tarefa, sendo que 10 correspondia a uma carga de trabalho elevada. O pestanejar foi detetado com recurso a EOG, com cálculo da sua duração e frequência. Realizaram-se várias tarefas, nomeadamente: tarefa com apresentação de estímulos em fluxo contínuo, com deteção de um estímulo com pouca frequência em relação a todos os outros estímulos, e com características distintas (por exemplo, um tom diferente entre estímulos auditivos); tarefa de rastreamento com dois níveis de carga de trabalho mental (carga baixa e média), realizada no laboratório; e duas tarefas executadas durante situação de voo. Na execução da tarefa de rastreamento com dois níveis de carga, realizada no laboratório, verificou-se que na tarefa de baixa carga mental, a frequência do pestanejar ($10,7 \pm 3,7$) foi superior à frequência do pestanejar da tarefa de carga

média ($7,3 \pm 3,2$). No entanto, a frequência do pestanejar foi superior durante a condição de voo, uma vez que pilotar requer uma maior atenção a diversos fatores e produz o aumento de informação visual que é geralmente associada ao aumento da frequência do pestanejar. A sobrecarga cognitiva parece ter influência nas funções cerebrais e na relacionada atividade elétrica. De igual modo, a função de piloto é mais exigente do que a função de copiloto, tendo-se verificado que o copiloto, na simulação realizada, obteve um pestanejar de maior duração. No que se refere à duração do pestanejar, esta é mais dependente da carga de trabalho visual independentemente da complexidade da tarefa, ao contrário da frequência do pestanejar. Verificou-se uma diminuição da duração do pestanejar nas tarefas de rastreamento, do que relativamente às tarefas auditivas. Para este autor (Wilson et al., 1994), é de grande interesse a utilização em simultâneo da frequência e duração de pestanejar para determinar o nível de carga de trabalho durante a tarefa de pilotagem.

Também Morris & Miller (1996) demonstraram que ocorrem decréscimos no desempenho do piloto durante o voo devido a alterações na fadiga mental. Nesse estudo, realiza-se a investigação do movimento da pálpebra e a avaliação de componentes específicos do olho, como a frequência e amplitude, como possíveis preditores da diminuição da *performance* resultante da fadiga nos pilotos através de uma simulação de tarefa de voo (simulador com modelo B633000, Link Division, Singer-General Precision, Inc.), estando o cockpit a uma temperatura de aproximadamente 23° C. A *performance* foi medida durante as quatro horas de simulação, bem como os movimentos oculares através de eletrooculografia. A fadiga subjetiva, carga de trabalho e sonolência foram estimadas através da aplicação de escalas de escolha. A avaliação da relação entre parâmetros oculares, fadiga subjetiva e *performance* foi conseguida através de análise correlacional, bem como a inspeção manual dos dados. Morris & Miller (1996) verificou uma mudança notável na amplitude do sinal do pestanejar, monitorizada em tempo real durante a realização do ensaio, com uma diminuição ao longo da realização da tarefa. Averiguou-se que a amplitude e frequência do pestanejar são os indicadores que melhor demonstram a relação entre as alterações ocorridas no desempenho dos pilotos e a fadiga: a amplitude de pestanejar foi o melhor preditor da ocorrência de erro e desempenho, estando inversamente relacionada com o erro (a diminuição de amplitude corresponde a um aumento do erro); a frequência do pestanejar foi o segundo melhor preditor.

Segundo Van Orden et al. (2000), qualquer sistema que exige um acompanhamento contínuo realizado por um operador será afetado pela diminuição do estado de alerta associado à fadiga, podendo por em causa a eficiência e segurança pretendidas. Um método de monitorização objetiva dos operadores através da procura de sinais de fadiga seria útil nos transportes, segurança e controle de processos em que a existência de lapsos na atenção pode ser desastrosa, e onde a medição contínua do desempenho da tarefa, muitas vezes não é viável. Deste modo, o estudo de Van Orden et al. (2000), tentou determinar se as flutuações verificadas em diversos vídeos baseados na medição da atividade ocular estavam correlacionadas com alterações simultâneas no desempenho visual e motor compensatório numa tarefa de vigilância contínua. Procurou-se desenvolver um modelo de regressão e efetuar o treino de alguns modelos neurais, individualmente, para cada participante. A tarefa de rastreamento de compensação visual bidimensional foi realizada. Executaram-se no total duas tarefas: tarefa de rastreamento visual e tarefa de deteção auditiva. O sistema de *eye tracking* utilizado procede ao cálculo da localização e diâmetro da reflexão da pupila e da localização do reflexo da córnea com uma frequência de amostragem de 60 Hz. As sessões realizaram-se em dois dias separados: os primeiros 15 voluntários realizaram apenas a tarefa de rastreamento visual (100 minutos), utilizando uma fonte de luz infravermelha, alinhada com uma câmara montada acima do vidro refletor, fornecendo uma imagem ao olho para iniciação do sistema de processamento de imagem; os restantes 14 participantes foram posicionados num sistema de descanso da cabeça e queixo e a

atividade do olho foi obtida através de um sistema ótico remoto, ligado ao sistema de *eye tracking*.

O pestanejar foi extraído dos dados iniciais da atividade ocular através da identificação do fechar parcial do olho quando o diâmetro da pupila se encontrava a 35% ou menos do seu valor médio. A análise de regressão não-linear contemplou a duração e frequência do pestanejar e o diâmetro da pupila, bem como os termos ao quadrado e os produtos cruzados de todos os termos lineares. O principal resultado obtido foi a verificação de que a frequência média e a duração do pestanejar variam em função dos erros cometidos pelos voluntários nas tarefas (tal como em Morris & Miller, 1996), tendo estes demonstrado lapsos na *performance* nas duas sessões realizadas. Assim, para Van Orden et al. (2000) as mudanças verificadas na componente pestanejar e no diâmetro da pupila estão relacionadas com mudanças sucedidas na *performance* devido sobretudo a fadiga, diminuição do estado de vigília e o tempo de execução de uma tarefa. A atenção sustentada numa tarefa monótona pode levar a flutuações de desempenho e a alterações na atividade ocular que são predominantemente o resultado do aumento de fadiga. A frequência e duração do pestanejar encontram-se correlacionadas com a realização de uma tarefa de deteção visual e as mudanças no comportamento do pestanejar foram atribuídas ao aumento dos níveis de fadiga durante a tarefa. Estes dois indicadores, aliados à distância entre a pálpebra superior e inferior permanecem os melhores indicadores oculares para o estado de alerta e para a habilidade do condutor em reagir ao estímulo ambiental.

Já Caffier et al. (2003) realizou um estudo com 60 voluntários no qual revela que a sonolência está associada a modificações da forma da onda de pestanejar espontâneo, com o aumento simultâneo da duração do pestanejar, do tempo que as pálpebras demoram a fechar e do tempo de reabertura. No referido estudo, o pestanejar dos olhos foi gravado no início e no fim do dia de trabalho, isto é, no período da manhã e ao final do dia. Para captar o pestanejar espontâneo de olhos, neste estudo recorreu-se a um sensor portátil, não invasivo e de fácil utilização, fixo à orelha e sem perturbar o campo de visão, conectado à porta da impressora no computador portátil, que efetua a gravação dos movimentos da pálpebra de modo contínuo. Para determinar a duração do pestanejar ao nível da *baseline*, foram definidas regressões lineares para ambos os flancos da onda de pestanejar original. Foram delimitadas as intersecções das linhas da regressão com a *baseline* e verificou-se que o tempo entre as intersecções era correspondente à duração do pestanejar. A linha vertical do ponto de intersecção entre ambas as linhas da regressão ao nível do pico, divide a duração do pestanejar dos olhos em dois períodos: tempo que as pálpebras demoram a fechar e tempo que demoram a reabrir. Os voluntários encontravam-se sentados a dois metros de uma fotografia de uma paisagem estática neutra (25 cm altura x 35 cm largura), e podiam escolher a fotografia para cada sessão, para a qual tinham que olhar durante 20 minutos. Cada voluntário efetuou uma estimativa subjetiva do seu próprio estado pessoal, a qual serve para avaliar a individualidade na perceção da sonolência, refletindo variações normais e influências adicionais potenciais no nível de sonolência (efeitos de noite anterior ou privação de sono). Esta estimativa subjetiva da sonolência baseia-se na aplicação de uma escala relativa ao estado pessoal dos voluntários. Os parâmetros da frequência e da duração do pestanejar são sujeitos a modificações consoante o aumento da sonolência. Verificaram-se diferenças nos 60 voluntários testados, quer para o estado de alerta, quer para o estado de sonolência: a variação da frequência não ocorre linearmente com as mudanças do estado de alerta - quanto maior a fadiga ou o estado de sonolência, menor a frequência do pestanejar e maior a duração do pestanejar; a média de duração do pestanejar é de 200 ms, sendo que no estado de sonolência foi 50 ms mais longa. Ainda segundo Caffier et al., (2003), a duração do pestanejar é o parâmetro que contém mais informação e o seu prolongamento, quando se está sonolento, é devido ao aumento simultâneo do tempo que as pálpebras demoram a fechar, ao tempo em que permaneceram fechadas, mas também essencialmente devido ao prolongamento do tempo de reabertura das pálpebras.

O ato de pestanejar é definido por K. Fukuda (2005) como a total oclusão da pupila pela pálpebra e identifica o término da aquisição e processamento de informação. Este autor procedeu à análise de componentes oculares e do seu potencial como indicadores neurofisiológicos e preditores do estado de alerta e desempenho cognitivo em ambientes operacionais; neste estudo de Fukuda et al. (2005), os voluntários encontravam-se sentados confortavelmente numa cadeira. Para a medição dos movimentos oculares e do pestanejar utilizou-se EOG, enquanto se executava uma tarefa de memória: memorização de números integrais pares e ímpares. Verificou-se que a frequência do pestanejar variou como função do tempo de execução da tarefa.

O desenvolvimento de sistemas para monitorização da fadiga dos trabalhadores é cada vez mais frequente e são diversas as tentativas para desenvolver um dispositivo que melhor preveja o estado cognitivo do operador e avalie a sua *performance*, sendo a prevenção de acidentes o seu maior objetivo. A utilização de uma câmara de vídeo é mais favorável e menos intrusiva, e está constantemente a ser melhorada. Como a condução requer a atenção do condutor e um esforço cognitivo substancial do cérebro, a monitorização da fadiga, da carga de trabalho mental e sonolência é muito importante para melhorar a segurança rodoviária e, consequentemente, reduzir o número de acidentes rodoviários. As técnicas de deteção de fadiga em condutores podem ser definidas como técnicas que monitorizam diretamente o condutor e o comportamento do veículo como resultado da condução. No estudo de R. Schleicher (2008), a filmagem da face dos voluntários foi efetuada por uma câmara de vídeo. Utilizou-se também um amplificador (*PAR-Elektronik Berlin*, banda 0-250 Hz) para gravação de EOG horizontal e vertical. Para classificar o seu estado de alerta numa escala de 10 (completamente desperto) a 1 (completamente sonolento), no teste os condutores foram questionados a cada 30 minutos, e encorajados a reportar mudanças espontâneas no seu estado de alerta. Segundo Schleicher et al. (2008), a duração do pestanejar é a soma da duração do tempo que a pálpebra demora a fechar, o atraso da reabertura e a duração da reabertura. A duração do pestanejar foi a variável mais importante, indicativa de sonolência objetiva e subjetiva e de fadiga subjetiva, estando de igual modo relacionada com a fadiga revelada no vídeo. No geral, as correlações dos parâmetros oculares com a classificação do estado de alerta obtida através do vídeo foram maiores do que com o estado de alerta subjetivo, uma vez que o estado de alerta subjetivo foi verificado a cada 30 minutos, enquanto que o vídeo era classificado continuamente. O intervalo de pestanejar diminuiu com o aumento da fadiga e a velocidade do fechar da pálpebra diminuiu com o aumento da sonolência. O aumento da frequência do pestanejar reflete a redução da inibição de pestanejar causada pela diminuição da exigência de atenção ou carga visual. A relação entre frequência do pestanejar e sonolência pode ser demonstrada quando os voluntários começam a fixar a sua atenção na presença de sonolência severa, não apresentando quase nenhum pestanejar após um aumento inicial de pestanejar (forma de U).

Na execução de uma tarefa ou atividade são utilizados diversos recursos cognitivos. Quando executadas duas tarefas simultaneamente, são ativadas duas ou mais áreas do cérebro e os nossos recursos de atenção limitada têm de ser partilhados, verificando-se um maior desgaste dos recursos cognitivos necessários (Recarte et al., 2008). Segundo este autor, a ativação de cada área do cérebro é menor durante a tarefa dupla do que a verificada na tarefa única. O aumento do número de pestanejos pode ser devido a um estado de fadiga (diminuição do estado de ativação) ou a um esforço mental requerido para a execução de uma segunda tarefa (aumento do estado de ativação). No seu estudo, Recarte et al. (2008) pretendeu estudar a validade de três medidas da carga de trabalho mental e a sua capacidade de prever o comprometimento visual que se possa verificar: o Questionário *NASA-Task Load Index* (NASA-TLX), a dilatação da pupila e a frequência do pestanejar. O Questionário NASA-TLX, desenvolvido pela *Aerospace Human Factors Research Division* da NASA, é um dos questionários existentes baseados no levantamento das exigências e/ou das perceções dos indivíduos que estão envolvidos nas atividades avaliadas. Foram utilizadas condições experimentais de tarefa única (caracterizada

pela execução de tarefas cognitivas com carga de trabalho mental mas sem exigência visual) e de tarefa dupla (tarefas cognitivas em conjugação com a tarefa de procura visual, visualmente exigente). A tarefa cognitiva que induz carga de trabalho mental consistia na audição de tarefas e na reprodução do seu conteúdo, pelas suas próprias palavras, enquanto executavam simultaneamente uma tarefa de aritmética mental. A tarefa de procura visual contínua implica uma elevada exigência visual (detecção de uma letra-alvo, a letra R, em dezasseis letras) e um menor esforço mental (identificação de letra-alvo e o pressionar de uma tecla). De todas as medidas da carga de trabalho mental, o pestanejar destacou-se ao fornecer mais informações, uma vez que discrimina a exigência visual de carga de trabalho mental, com efeitos opostos: a carga de trabalho mental conduz ao aumento da frequência do pestanejar e a exigência visual à sua diminuição.

Na investigação concretizada por T. Nakano (2009), sugere-se que o pestanejar não é desencadeado reflexivamente por estímulo físico, mas que antes se torna sincronizado quando o estímulo visual tem um forte e rápido impacto, devido à necessidade de controlar a ocorrência de cada pestanejar para uma perda mínima de informação visual considerada crítica. O pestanejar parece assim ser gerado seletivamente como resultado do processamento cognitivo. As redes neuronais que envolvem o córtex parietal posterior podem desempenhar um papel crítico no controlo do pestanejar nas pausas explícitas nos vídeos, nas mudanças de cenas. Investigou-se deste modo o pestanejar espontâneo de 14 voluntários enquanto observavam dois vídeos silenciosos e ouviam uma narrativa de um livro, em simultâneo. Um dos vídeos correspondia a uma história atrativa e fácil de entender, sendo o segundo vídeo sobre paisagens, com constante mudança de cenas mas sem desenvolvimento da história. A narrativa foi retirada de um *áudio book*, contendo uma história muito pormenorizada mas à qual faltava um estímulo visual. A frequência do pestanejar média obtida na visualização do vídeo inicial foi significativamente menor que a frequência durante o descanso, tendo-se verificado um ligeiro aumento na frequência do pestanejar com a repetição dos vídeos. Curiosamente, a sincronização do pestanejar não se verificou para o segundo vídeo e na tarefa de audição. Nakano et al. (2009) encontrou uma sincronização temporal de pestanejar em e entre voluntários nas pausas implícitas nos vídeos visualizados, executada de modo a procurar uma rutura na informação visual fornecida e assim evitar a perda temporal de informação visual relevante. O autor enaltece a importância da regulação da temporização de pestanejar de modo a prevenir a perda de informações críticas geradas pelo fluxo de informação visual, sugerindo a existência de um mecanismo para controlar o tempo despendido a pestanejar e encontrar o momento adequado para a sua ocorrência. Este controlo de ocorrência de pestanejar pode estar intimamente relacionado com o sistema atencional visual e contribuir para uma perceção visual estável, bem como a sensibilização sobre as interrupções no pestanejar.

O estudo desenvolvido por S. Benedetto (2011) encontra-se focado na análise das variáveis psicofisiológicas duração e frequência do pestanejar, que podem indicar a carga de trabalho visual durante uma simulação de condução. Segundo este autor, a condução requer a execução de tarefas cognitivas físicas, perceptuais e motoras. Os voluntários procederam à realização de duas tarefas distintas: simulação de condução a 60 km/h percorrendo 3km, com dezoito mudanças de via numa estrada de três vias, de modo a quantificar a degradação da *performance* e a atenção disponibilizada na tarefa primária quando se executa uma segunda tarefa; realização de tarefa visual de procura que consistia em encontrar o círculo alvo no ecrã, através do duplo clique no ecrã (esquerdo, direito), para avaliar a degradação da *performance* de conduzir. Benedetto et al. (2011) verificou uma diminuição da duração e da frequência do pestanejar na execução de uma tarefa dupla. A duração do pestanejar é afetada pelo tempo de execução da tarefa e pelas tarefas visualmente exigentes e ajuda a detetar distrações a que o condutor possa estar sujeito, sendo a chave principal para a prevenção de acidentes. Apresenta uma distribuição

gaussiana nas condições de tarefa única, e nas tarefas duplas a inibição do pestanejar pode ocorrer para evitar que se verifiquem perdas de informação visual.

Já no estudo conduzido por D. Kim (2011), propôs-se a elaboração de um sistema de monitorização de fadiga baseado no movimento de olhos e na detecção do pestanejar. O número de pestanejos foi medido como sendo um dos indicadores de fadiga visual, através da utilização de imagens de olhos captadas pela câmara. Os resultados foram obtidos enquanto se observavam vídeos estereoscópicos após realização do procedimento de calibração, compreendendo três sessões de vídeo: vídeos *3D-plus*, *3D vídeos* com fadiga visual moderada e *vídeos 2D*. Efetuou-se assim a comparação de movimento de olho e pestanejar entre as diferentes sessões e a comparação dos resultados ao longo do eixo do tempo. Verificou-se a diminuição do número de pestanejos ao longo do eixo do tempo, havendo menor diferença entre as três sessões de vídeo.

O estudo de M. Pedrotti (2011) centra-se na detecção do pestanejar, utilizando um algoritmo desenvolvido para o efeito. Os ensaios realizaram-se em diferentes condições de iluminação, procedendo-se à utilização de uma luz infravermelha para iluminação da pupila. Os voluntários foram sujeitos aleatoriamente a um total de 8 combinações possíveis, existindo um aumento gradual da dificuldade da tarefa. Obtiveram-se no total 334 piscar de olhos resultantes de imagens gravadas numa experiência. Para Pedrotti et al. (2011) o pestanejar encontra-se relacionado com aspetos visuais de carga de trabalho, ou seja, com a dificuldade da tarefa. Também o estudo de Y. Kurylyak (2012) aborda a detecção do pestanejar dos olhos de modo a monitorizar o nível de fadiga, pela detecção do fechar dos olhos e da avaliação da frequência do pestanejar, através de um sistema baseado num algoritmo com funções do tipo *Haar-like* e um *eyetracker* composto por 7000 amostras positivas. Este sistema permite a detecção rápida dos olhos, o reconhecimento do pestanejar quando o utilizador está em frente à câmara, a distinção entre pestanejar voluntário e pestanejar involuntário, a monitorização das mudanças do nível de fadiga ao longo do tempo e a otimização de *software*. Os ensaios foram realizados no período da manhã às 10h (estado de alerta) e à meia-noite (estado de sonolência) e verificou-se que o pestanejar involuntário ocorre simultaneamente nos dois olhos. O sistema utilizado permitiu a detecção de pestanejar com a exatidão de 94,48%, principalmente no período da manhã, e também na utilização de óculos.

A análise das ondas cerebrais EEG e a sua decomposição em diferentes bandas de frequência têm sido frequentemente utilizadas para a avaliação da variação do estado interno de um indivíduo durante a execução de uma tarefa cognitiva e tem sido demonstrado em vários estudos que o EEG é sensível às flutuações do estado de vigília e que prevê a degradação do desempenho na execução de uma tarefa. O aumento no espectro de potência de EEG na banda teta pode estar relacionado com o aparecimento de fadiga mental, principalmente com o aumento no córtex pré-frontal, frontal e parietal (Borghini et al., 2012). Tem sido verificado que o espectro de potência do EEG diminui na banda alfa, durante tarefas cognitivas exigentes e complexas, principalmente nas áreas parietais. Tendo em conta a simulação de condução, G. Borghini (2012) desenvolveu um índice de carga de trabalho mental baseado nos dados de EEG, que pode ser usado no interior de um veículo de modo a providenciar feedback ao utilizador sobre o seu estado cognitivo durante a condução. Para tal, realizaram-se 5 tarefas, que contemplavam tarefa de alerta e tarefa de vigília, com aplicação do Questionário NASA-TXL no fim de cada condição. Utilizou-se o método *ICA* para remoção de artefactos dos sinais através da separação das fontes independentes, e procedeu-se à análise do pestanejar. Pela análise do espectro de EEG, verificou-se que na tarefa monótona de condução as “irupções” alfa tiveram frequências próximas entre a máxima teta e a mínima alfa (7 – 9Hz), com aumento gradual da amplitude, como sinal de sonolência ou vigília reduzida, sendo mais predominante nas áreas centrais e parietais. Nesta mesma tarefa monótona, realizada no período noturno, verificou-se o aumento da frequência do pestanejar. Borghini et al. (2012) concluiu que a frequência do pestanejar se encontra inversamente correlacionada com a dificuldade das tarefas de condução,

ou seja, com a carga de trabalho mental. Para este autor, os sinais neurofisiológicos são indicadores de fadiga mental e do estado físico do condutor, existindo uma correlação com a *performance* do condutor durante a condução.

No que diz respeito à carga de trabalho mental de profissionais como os cirurgiões, dois estudos elaborados por X. Jiang (2013) e por B. Zheng (2012), pretendiam desenvolver estratégias para gerir o *stress* intraoperativo a que estes profissionais estão expostos uma vez que precisam de coordenar a informação visual com os movimentos das mãos para controlo das ferramentas cirúrgicas. Jiang et al. (2013) desenvolveu um algoritmo de visão computacional para efetuar a contagem automática do número de pestanejos em vídeos, o qual abrange o início e o fim do pestanejar, através da diferença entre *frames* consecutivos do início do pestanejar e do tamanho da pupila no final. Nos 10 vídeos realizados foram contados 270 pestanejos verdadeiros. No estudo realizado por Zheng et al. (2012), testou-se a fiabilidade da frequência e duração do pestanejar como indicadores da carga de trabalho mental e a existência de correlação entre o pestanejar com o resultado do questionário NASA-TLX, aplicado no final da simulação de dois casos de laparoscopia. O algoritmo efetua a comparação entre a posição de pupila e a pálpebra entre dois *frames* seguidos: o *frame* relativo ao início de fechar da pálpebra corresponde ao início do pestanejar; o momento em que o tamanho da pupila volta ao seu tamanho normal corresponde ao fim do pestanejar. Quando a primeira tarefa cirúrgica requer um elevado nível de atenção, o cirurgião fica com uma quantidade reduzida de recursos mentais para executar uma segunda tarefa na sua visão periférica (deterioração da *performance* da segunda tarefa devido ao nível de dificuldade da primeira tarefa). O pestanejar involuntário é controlado por um mecanismo central que pode ser afetado pelo estado mental. Os cirurgiões que pestanejaram menos (≤ 6 pestanejos/min) reportaram um maior nível de frustração e uma maior carga de trabalho do que os que pestanejaram mais. O aumento da carga de trabalho pode ser refletido na diminuição da frequência do pestanejar e na sua curta duração. A correlação entre a NASA-TLX, a duração do pestanejar e sua frequência não é significativa devido a alguns valores discrepantes. A tecnologia desenvolvida neste estudo proporciona a monitorização contínua do estado mental do cirurgião durante o procedimento cirúrgico, compreendendo os mecanismos de influência da carga de trabalho mental na *performance* para a realização de um desempenho mais seguro. A ferramenta desenvolvida permite assim a avaliação da carga de trabalho mental dos cirurgiões, a verificação de diferenças no pestanejar durante a operação, a caracterização de momentos stressantes e a identificação das tarefas cirúrgicas com maior associação ao *stress*.

Para a deteção de fadiga, Hsieh & Tai (2013), elaboraram um método de deteção com identificação de sinais visuais, nomeadamente o pestanejar nos condutores, através da relação linear entre a amplitude e velocidade do pestanejar. Utilizou-se um microcontrolador para calcular e mostrar a duração e o número de pestanejos, em tempo real. Para os autores, a duração do pestanejar consiste no tempo da diferença entre o início e o fim do pestanejo do olho, obtidos pela localização de metade da amplitude. O estado apresentado pelos voluntários baseou-se no comportamento do seu pestanejar: acordado – intervalos de pestanejar de longa duração e pestanejar de curta duração; baixa vigília - intervalos de pestanejar de curta duração e pestanejar de curta duração; fadiga – pestanejar de longa duração; sonolência – pestanejar de muita longa duração e/ou períodos de sono; sono - olhos permanentemente fechados (adormecer). O sistema de deteção proposto demonstrou ser seguro, fácil de instalar, sem recurso a sistema de elétrodos complexo, portátil, com alta resolução devido à frequência de amostragem de 1 kHz, de baixo custo e baixo consumo de energia e com uma precisão de 95%. As medições não foram afetadas pela intensidade da luz solar, sombras ou pelos óculos do condutor.

A pertinência da utilização das características do pestanejar na estimativa de níveis de carga cognitiva foi averiguada por S. Chen (2013), assim como em tarefas de carga percetual e nas transições entre tarefas, para compreensão da flutuação do estado do voluntário na realização de tarefas. O estudo compreendeu a realização de três tarefas distintas, estando associado a cada

uma cinco níveis de carga cognitiva (dificuldade da tarefa) e três tipos de carga percetual (tarefa de aritmética – carga percetual baixa; tarefa de ligação – carga percetual média; tarefa de procura de um número alvo - carga percetual elevada). Os níveis de carga cognitiva tinham por base o número de itens interativos a serem armazenados na memória de trabalho. A execução de tarefas com diferentes tipos de carga percetual e diferentes níveis de carga cognitiva efetuou-se sequencialmente em grupos de três, sem intervalo. A estimativa do nível de carga cognitiva é melhor nas tarefas de baixa e média carga percetuais, que variavam na direção oposta às tarefas com elevada carga percetual. As características do pestanejar mostraram ser mais confiáveis na estimativa do tipo de tarefa de carga percetual do que na estimativa dos níveis de carga cognitiva. A frequência do pestanejar foi menor na tarefa de carga percetual elevada do que na tarefa de carga percetual média. Para Chen et al. (2013), na transição de tarefas há um aumento do pestanejar uma vez que termina um processo cognitivo e há a passagem para outro processo cognitivo. Uma carga percetual elevada diminui a interferência de distrações, enquanto que uma carga cognitiva elevada aumenta a interferência de distrações que aparecem em situações de menor carga percetual. Isto é devido ao efeito da memória de trabalho na carga percetual elevada, e as características do pestanejar não demonstrarem a diferença entre os níveis de carga cognitiva. Chen et al. (2013) concluiu que a inclusão da estimativa dos tipos de carga percetual e da transição de tarefas na configuração de um sistema de medição da carga cognitiva oferece uma abrangente noção da tarefa do usuário e uma melhor interpretação tendo por base a estimativa de resultados de carga cognitiva. Uma limitação deste estudo depreende-se a partir do facto de se compararem diferentes tipos de tarefa em termos de carga percetual quando na realidade podem existir diferentes capacidades cerebrais em cada tipo de tarefa.

Segundo Wascher et al. (2014), a diminuição da frequência de pestanejar verifica-se na presença de uma elevada exigência visual. Elaborou-se um estudo onde se verifica a simulação de um local de trabalho em logística, através de duas tarefas distintas, com um período de descanso: tarefa física que consistia em carregar caixas; tarefa cognitiva que consistia em resolver exercícios de sudoku. Realizou-se a medição do sinal de EEG (ActiCap, *Brain Products*) e do sinal de EOG. Baseado no pressuposto que o pestanejar marca eventos discretos no processamento de informação, a atividade relacionada com o pestanejar foi extraída separadamente para cada uma das condições. Verificou-se que a frequência do pestanejar foi superior na tarefa física, seguida da verificada na tarefa cognitiva e no período de descanso. A frequência do pestanejar verificada na tarefa cognitiva foi inferior à frequência do pestanejar na tarefa física. O facto de a frequência ser menor no descanso faz denotar que não são só as exigências de atenção que determinam a frequência do pestanejar, ou seja, não depende apenas da atenção sustentada. Verificou-se igualmente durante a execução de tarefas cognitivas um aumento no componente N2 frontal-central, bem como da atividade da onda teta, ambos indicadores de um controlo cognitivo aumentado. E ainda a diminuição no componente P3 posterior durante a tarefa física bem como da atividade da onda alfa, refletindo deste modo a natureza mais contínua dessa tarefa. O EEG móvel utilizado demonstrou ser uma ferramenta poderosa para análises nos locais de trabalho (*in-situ*).

A existência de uma ferramenta que permita medir diretamente a *performance* do operador, ou o seu estado cognitivo nesse ambiente, foi recentemente enaltecido por L. McIntire (2014). Para este autor, a aplicação de um sistema que fornecesse um *feedback* ocular, em tempo real, permitiria a implementação de medidas preventivas quando os indicadores alcançassem um determinado valor a partir do qual já seria possível a ocorrência de possíveis lapsos na vigilância ou o conseqüente diminuir do seu desempenho. McIntire et al. (2014) pretende com o seu estudo encontrar um dispositivo que monitorize eficazmente a atenção do operador, em tempo real, e o alerte podendo reduzir a ocorrência de lapsos e erros. A deteção da oclusão da pupila pela pálpebra permite detetar a frequência e a duração do pestanejar. Considerava-se pestanejar na presença da total oclusão da pupila em 3 *frames*. O pestanejar é um indicador de *performance*

devido a uma mudança no nível de estimulação cognitiva. O aumento da frequência do pestanejar e da sua duração pode levar a que informação, como os sinais críticos, seja perdida. A frequência do pestanejar está relacionada com a execução de tarefas que requerem atenção sustentada e é indicadora da *performance* devido a mudanças dos níveis de condição cognitiva de alerta. A atenção sustentada é um importante aspeto em diversas profissões que envolvem a manutenção da segurança pública, como é o caso dos controladores de tráfego aéreo. Assim a tarefa relacionada com o estado de vigília consistia na simulação da atividade de controlo de tráfego aéreo, numa cadeira não ajustável e a uma distância de 46 cm do monitor, procurando sinais críticos de possível colisão entre aviões de combate a jato, devendo pressionar a tecla espaço do teclado para indicar o sinal crítico. A tarefa tinha uma duração de 40 minutos, medidos em intervalos de 10 minutos. O efeito da repetição da tarefa ao longo dos dias foi notado pela maior rapidez demonstrada na execução da tarefa. O hemisfério direito participa na vigilância e na atenção e a velocidade do fluxo arterial sanguíneo da parte direita do cérebro encontra-se correlacionada com a frequência do pestanejar e a sua duração. A diminuição do fluxo arterial sanguíneo e o aumento da frequência e da duração do pestanejar são consideradas medidas de nível de vigilância. O dispositivo utilizado é de fácil implementação em ambiente operacional, não necessita de muita calibração, que pode ser efetuada pelo próprio trabalhador, não tem dificuldade em detetar diferentes cores de pupila, permite maior mobilidade do usuário e não é fisicamente invasivo. Os resultados obtidos são semelhantes ao do estudo de Van Orden et al. (2000), com alterações na duração e frequência em relação às mudanças no desempenho da tarefa.

É cronologicamente notória a correlação da componente pestanejar com a *performance* de uma tarefa e o estado mental do operador, verificando-se particularidades na mudança do comportamento do pestanejar atribuídas ao aumento dos níveis de fadiga e esforço cognitivo, principalmente na utilização de recursos cognitivos que podem não estar completamente disponíveis, como por exemplo no final de um dia de trabalho.

A diversificação das áreas de aplicação deste indicador pode ser consultada em diversos artigos anteriormente mencionados, destacando-se para a condução de veículos (Van Orden et al., 2000; Schleicher et al., 2008; Recarte et al., 2008; Benedetto et al., 2011; Kim et al., 2011; Borghini et al., 2012; Hsieh & Tai, 2013), na pilotagem de aviões (Morris & Miller, 1996; Stern et al., 1994; Wilson et al., 1994), no controlo de tráfego aéreo (McIntire et al., 2014) e em operações médicas (Jiang et al., 2013; Zheng et al., 2012).

3 OBJETIVOS, MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Objetivos da Dissertação

A presente dissertação consiste num trabalho de investigação e tem como objetivo principal o estudo e caracterização do pestanejar dos olhos, durante a realização de tarefas cognitivas, em diferentes condições ambientais de temperatura e humidade relativa e a avaliação da possibilidade da sua utilização no estudo da fadiga. Para o efeito foi utilizada uma Câmara Climática, sendo a componente do pestanejar obtida através de registos de vídeo com recurso a câmara Web, assim como por processamento dos sinais EEG registados.

Os seus objetivos específicos são os seguintes:

- Análise dos dados do pestanejar obtidos pela visualização dos registos vídeo captados com câmara Web durante os ensaios laboratoriais;
- Avaliação da possibilidade de individualização da componente do pestanejar nos registos EEG, por subtração dos registos pré e pós-filtragem da componente do pestanejar, pelo método ICA;
- Estudo exploratório com o propósito da avaliação da possibilidade de deteção da expectável correlação temporal entre o pestanejar identificado por visionamento das gravações de vídeo, em cada ensaio, e os respetivos sinais EEG;
- Averiguação da existência de relação entre o pestanejar e as diferentes condições ambientais dos ensaios;
- Caracterização da evolução temporal da componente do pestanejar em cada uma das Condições estipuladas, individualmente e globalmente.

3.2 Materiais e Métodos

O efeito do pestanejar, nos sinais EEG, é normalmente considerado uma componente de ruído a eliminar por filtragem. Dado que esta componente associada ao pestanejar possui uma elevada amplitude – frequentemente superior à dos sinais cerebrais – pode por vezes ocultar informação relevante, nomeadamente nos sensores posteriores Fp1 e Fp2, próximos dos músculos das pálpebras.

O presente estudo surgiu da ideia inicial de se poder isolar e aproveitar a componente dos sinais EEG associada ao pestanejar, e normalmente rejeitada por filtragem, como uma fonte de informação útil no estudo do pestanejar como indicador de fadiga.

Deste modo, pretendeu-se reunir a informação mais significativa na área em estudo, efetuando-se para isso uma revisão bibliográfica sobre o tema em questão, utilizando a metodologia de revisão sistemática referenciada em *PRISMA Statement*, bem como a recolha de informação adicional relevante, que permitisse identificar os materiais necessários e preparar uma metodologia adequada aos objetivos pré-definidos. Seguiu-se a realização de ensaios laboratoriais para a obtenção de dados, a sua análise e interpretação, culminando na apresentação das conclusões do estudo e perspetivas de trabalhos futuros.

A esquematização gráfica global do caminho traçado encontra-se representada na Figura 4.

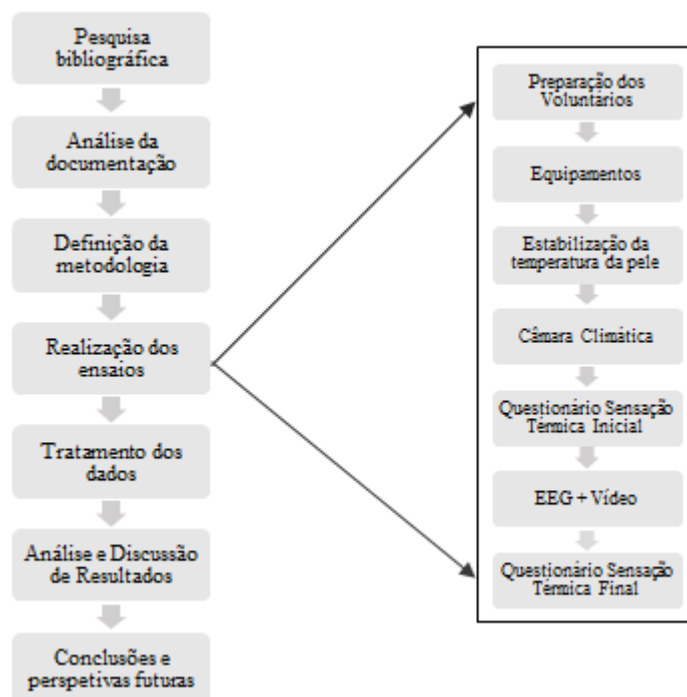


Figura 4: Esquemática global.

3.2.1 Envoltente e/ou contexto

Os ensaios decorreram no Laboratório de Prevenção de Riscos Ocupacionais e Ambientais (PROA), no 4º Piso do Edifício F – Minas e Metalurgia, na sala F403, uma infraestrutura associada ao Laboratório de Biomecânica da Universidade do Porto (LABIOMEP) com o principal foco na área ocupacional, incluindo a investigação da exposição ao ruído, vibrações, *stress* térmico e realização de movimentos repetitivos, inerentes a várias classes profissionais.

3.2.2 Equipamentos, protocolos e questionários/inquéritos

3.2.2.1 Caracterização da Amostra

No presente estudo, a amostra é constituída por 10 voluntários do sexo masculino, na sua maioria estudantes (60%), retirados de uma população constituída por 11 elementos (exclusão de um deles por indisponibilidade para realização do segundo ensaio), com idade média de $26,2 \pm 5,63$ e uma altura média de $173,6 \text{ cm} \pm 8,54$, tendo sido incluídos no estudo por terem visão normal ou corrigida para normal. Nenhum procedimento foi realizado sem o consentimento informado assinado pelos voluntários, cujos dados pessoais foram protegidos, podendo abandonar o estudo a qualquer momento e sem qualquer tipo de justificação. As características pessoais dos indivíduos avaliados apresentam-se na Tabela 4.

Tabela 4: Características pessoais dos indivíduos

Voluntário	Idade	Altura (m)	Sexo	Profissão	Nacionalidade
1	29	1,77	Masculino	Estudante	Portuguesa
2	24	1,72	Masculino	Estudante	Portuguesa
3	24	1,85	Masculino	Eng. Mecânico	Portuguesa
4	24	1,77	Masculino	Estudante	Portuguesa
5	27	1,72	Masculino	Estudante	Portuguesa
6	26	1,75	Masculino	Operador Caixa	Portuguesa
7	20	1,67	Masculino	Estudante	Portuguesa
8	36	1,70	Masculino	Investigador	Tailandesa
9	18	1,56	Masculino	Estudante	Portuguesa
10	34	1,85	Masculino	Professor	Portuguesa

3.2.2.2 Equipamentos utilizados

A componente prática da presente dissertação compreende a realização de ensaios laboratoriais. Estes decorreram numa Câmara Climática devidamente testada para o efeito (Guedes, et al., 2012), tendo sido selecionados parâmetros e equipamentos adequados para o estudo (Costa e Baptista, 2013), como pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5: Equipamentos e Materiais utilizados.

Equipamentos e materiais	Indicadores a ser medidos
1 - Câmara Climática Fito Clima 25000	Temperatura e Humidade do ar
2 - Câmara Web	Pestanejar
3 - EEG- Eletroencefalograma <i>Emotiv</i>	Ondas cerebrais
4 - Termopar: Monitor <i>Plux 29</i>	Temperatura da pele (tsk)
5 - Sensor ingerível térmico: <i>Equivital</i>	Temperatura interna (Tc)
6 – Computadores	Utilização <i>software</i>
7 – Balança	Peso e altura

3.2.2.2.1 Câmara Climática

Os ensaios decorreram na Câmara Climática FITOCLIMA 25000 EC20 (3,60 m x 3,20 m x 2,40 m), equipamento 1, instalada no Laboratório PROA. Câmara Climática foi projetada e fabricada para a realização de testes climáticos e destina-se ao controlo preciso das condições ambientais, nomeadamente, temperatura (-20°C a 50°C, $\pm 0,5^\circ\text{C}$), humidade relativa (30% a 98% $\pm 2\%$), Dióxido de Carbono (CO₂) e Oxigénio (O₂). A sua capacidade útil é de, aproximadamente, 25.000 litros.

A Câmara Climática (Figura 5) foi escolhida para a realização dos ensaios uma vez que é o equipamento disponível que permite o necessário controlo da temperatura e humidade relativa. Os ensaios decorreram em condições ambientais distintas.

Cada voluntário foi sujeito a duas condições ambientais diferentes: Condição 1 - correspondente às condições ambientais com temperatura 18°C e 40% de humidade relativa; Condição 2 - correspondente às condições ambientais com temperatura 32°C e 80% de humidade relativa.

Para a estabilização de todas as variáveis, a Câmara Climática deve ser ligada pelo menos 4 horas antes da realização dos ensaios. Deste modo, realizaram-se no total 20 ensaios passíveis de serem utilizados, isto é, 10 ensaios para cada uma das duas Condições.

Para a realização dos ensaios em questão, a Câmara Climática encontra-se equipada com uma mesa, cadeira, monitor e câmara Web colocada na parte superior do monitor.



Figura 5: Câmara Climática utilizada nos ensaios laboratoriais.

3.2.2.2.2 Câmara Web

Durante os ensaios procedeu-se à utilização de uma câmara Web (Logitech HD Pro Webcam C920, Carl Zeiss Tessar HD 1080p), equipamento 2, para filmagem total da cara do voluntário e dos olhos, bem como por vezes dos membros superiores, para a consequente análise do seu pestanejar. A câmara Web (Figura 6) encontrava-se instalada no monitor do computador no interior da Câmara Climática, com especificações como controlo da panorâmica, inclinação e *zoom*, captura de vídeo e foto, rastreio de rosto e deteção de movimento.



Figura 6: Câmara Web utilizada nos ensaios laboratoriais

3.2.2.2.3 Emotiv Epoc

A atividade cerebral foi captada por EEG, uma forma de deteção baseada na atividade eletroquímica do cérebro. Utilizou-se o *headset Emotiv Epoc*, equipamento 3 (Figura 7), constituído por 14 canais de alta resolução e 2 canais de referência, os quais se designam consoante a localização, segundo o Sistema Internacional 10-20, normalmente utilizado no mapeamento das localizações de colocação de elétrodos no escalpe para registo dos sinais de

EEG conforme a região em que se encontram: frontal - AF3, F7, F3 F4, F8, AF4; centrofrontal - FC5 e FC6; temporal - T7 e T8; parietal - P7 e P8; e occipital - O1, O2.

A aquisição e o processamento dos dados realizam-se via *wireless* através do *headset*. O *Emotiv* comunica via Bluetooth com o computador. De modo a não ocorrerem problemas de comunicação, o *headset* e o recetor devem estar o mais próximos possível. A frequência de amostragem de todos os canais é de 128 Hz.

A obtenção dos sinais cerebrais é adquirida através da colocação de elétrodos no couro cabeludo. A Figura 8 demonstra como o *headset* deve ser colocado. O sinal é registado continuamente num ficheiro com formato *.edf*, seguindo-se várias fases para obtenção de diversos ficheiros necessários para análise.



Figura 7: Emotiv Epoc headset.

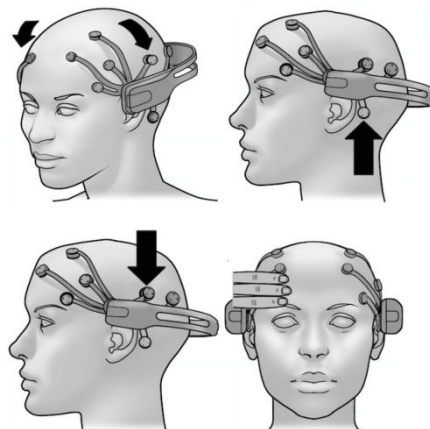


Figura 8: Exemplificação da colocação do equipamento.

Nos elétrodos são colocadas esponjas de pequena dimensão, as quais devem ser humedecidas com solução salina (soro fisiológico) antes de cada utilização. A extensão do movimento de iões está relacionada com o tipo de pele e a força de contacto entre a pele e o elétrodo (Desai, 2012). A adequada preparação da pele, através da sua limpeza com álcool, para remoção dos óleos faciais, é um procedimento necessário para maximizar a condução entre a pele e os sais contidos no soro fisiológico (Desai, 2012).

3.2.2.2.4 Monitor Bioplux

O Termopar *Monitor Plux 29* (Figura 9), equipamento 4 (gama de temperaturas de 0° a 50°C, com 1000 registos por segundo e conectividade sem fios), foi utilizado para medir a temperatura da pele (tsk) em dois pontos (testa e pescoço), de acordo com as especificações da Norma ISO 9886:2004 (Figura 10). O procedimento para medição da temperatura da pele encontra-se devidamente validado (Costa et al., 2014).

Em ambientes quentes as temperaturas locais da pele tendem a homogeneizar-se, de modo que os poucos pontos de medição utilizados podem ser usados com precisão (ISO 9886, 2004). Os sensores foram fixados à pele dos voluntários com fita adesiva antes da exposição às diferentes condições térmicas.

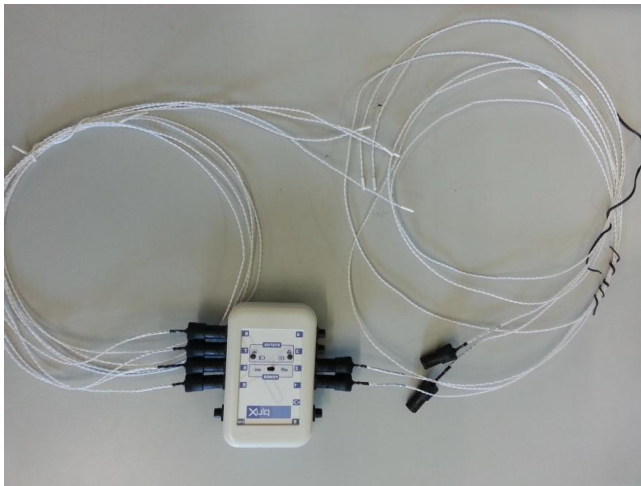


Figura 9: Termopar Monitor Plux 29

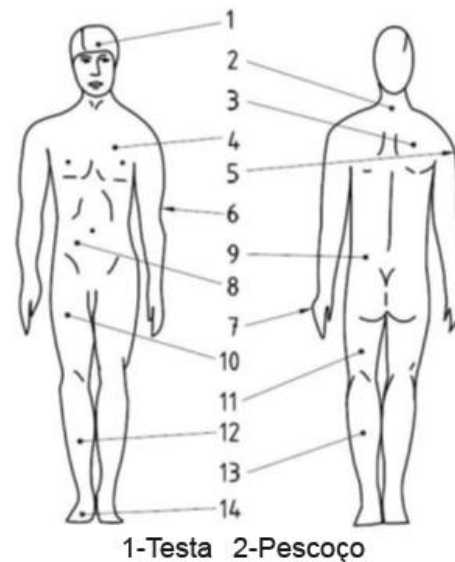


Figura 10: Localização dos 8 pontos para estimativa da temperatura média da pele

Fonte: Adaptado da ISO 9886:2004

3.2.2.2.5 Equivital e sensor ingerível térmico

A temperatura interna do corpo (T_c) é determinada com precisão através da ingestão do sensor térmico, devidamente ativado (Figura 11). A sua administração deve ocorrer pelo menos 8 horas antes do início do ensaio, de forma a permitir a progressão no tubo digestivo após ser ativado. Este dispositivo não representa nenhum perigo para o organismo, saindo naturalmente ao fim de 24 horas a 5 dias dependendo da variação gastrointestinal individual (McKenzie & Osgood, 2004). O procedimento para a medição da temperatura interna do corpo encontra-se devidamente validado (Costa et al. 2012).

Como recetor externo do sinal emitido pelo sensor térmico, utilizou-se *Equivital EQ02 Life Monitor*, equipamento 5 (conetividade sem fios, precisão de $\pm 0,01^\circ\text{C}$, com taxa de amostragem de 15 em 15 segundos), conectado num colete. A aquisição do sinal é contínua (ISO 9886, 2004), e permite a leitura e registo da temperatura interna. A Figura 11 mostra o referido colete, o recetor externo do sinal, o ativador do sensor e o sensor térmico. O recurso à utilização do equipamento *Equivital* é feito somente perante as condições de 35°C de temperatura e 80% de humidade relativa, por serem consideradas condições extremas.



Figura 11: Colete Equivital e restantes acessórios

Para todos os ensaios a temperatura da pele e temperatura interna foram estimadas unicamente como medida de controlo e salvaguarda dos voluntários.

3.2.2.2.6 *Questionário Sensação térmica*

No presente estudo utilizou-se um questionário, dividido em três partes, para quantificação de parâmetros subjetivos de conforto: a sensação, a preferência térmica e a sintomatologia. O levantamento das respostas subjetivas baseou-se nos princípios estabelecidos pela norma ISO 10551:1995). A primeira parte é relativa à percepção de sensação térmica e baseia-se numa escala com sete pontos, inicialmente utilizada por Fanger (1972) nos seus estudos, em que o ponto médio corresponde ao conforto térmico (Neutro), três pontos da escala são relativos às sensações de calor (Quente, Morno, Ligeiramente Morno) e três correspondem às sensações de frio (Ligeiramente Fresco, Fresco, Frio), mostrando assim satisfação ou insatisfação com o ambiente da Câmara Climática, no início e no fim do ensaio. A segunda parte do questionário é relativa à preferência de sensação térmica, isto é, se o voluntário gostaria de se sentir Mais Quente, Neutro ou Mais Frio. A última parte é relativa à sintomatologia sentida, aquando da entrada na Câmara Climática ou no final do ensaio. Este questionário foi elaborado e anteriormente utilizado por Emília Costa, tendo sido devidamente validado (Anexo I).

3.2.2.2.7 *Tarefa Cognitiva*

A plataforma de testes psicológicos PEBL contém testes válidos e versáteis, amplamente utilizados na área da investigação para avaliação da *performance* de participantes.

A tarefa Go – No Go foi a escolhida desta plataforma para ser realizada pelos voluntários, localizando-se em battery/gonogo/gonogo.pbl.

A tarefa Go – No Go originalmente descrita em Bezdjian (2009), é uma tarefa de inibição de resposta, onde os estímulos são apresentados num fluxo contínuo e os participantes realizam uma decisão binária em cada estímulo: a resposta motora deve ser executada ou inibida. Consiste, assim, na observação de uma apresentação sequencial de letras numa matriz 2x2, e na resposta a uma letra alvo. Cada quadrante da matriz é constituído por uma estrela, sendo uma delas substituída, sequencialmente, pela letra R ou P. Se se tratar da letra P, esta é uma condição Go, ou seja, corresponde a uma letra alvo e os voluntários devem pressionar a tecla ‘SHIFT’ do teclado em resposta à letra alvo P. No caso de ser a letra R, trata-se da condição NoGo, devendo os voluntários reter a sua resposta em relação à letra não-alvo R (Figura 12).

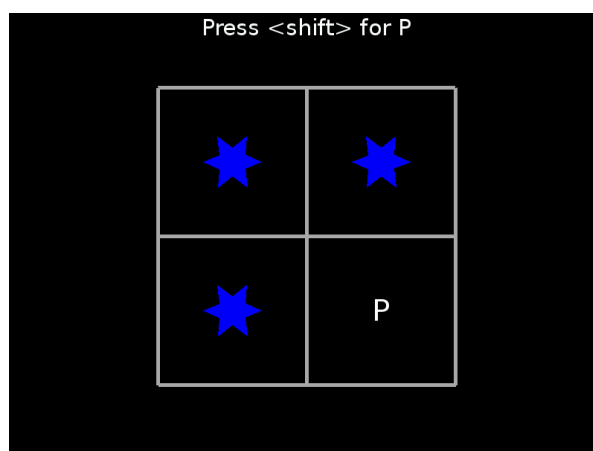


Figura 12: Representação da Tarefa Cognitiva.

Antes da execução da tarefa, as instruções de funcionamento da tarefa aparecem dispostas no monitor do computador dos voluntários, seguindo-se uma breve sessão para treino de modo a garantir que a tarefa tenha sido totalmente compreendida.

Estipulou-se um período total de 60 minutos para a realização da tarefa Go – No Go, sendo antecedido de um tempo de 20 minutos para estabilização da temperatura da pele, perfazendo assim um total de 1 hora e 20 minutos de ensaio. Os ensaios com o mesmo voluntário ocorreram com pelo menos 24 horas de diferença entre as sessões.

3.2.2.2.8 Computadores

Nos ensaios foram utilizados dois computadores, no exterior da Câmara Climática, um dos quais diretamente ligado ao monitor localizado no interior da Câmara, contendo, para além da bateria de testes (PEBL), o *software* relativo a *Emotiv Test Bench* (Versão 1.5.1.2, 2010), *Bioplux* e *Equivital*. O segundo computador continha o *software* da câmara Web utilizada para captação do pestanejar dos olhos dos voluntários.

3.3 Procedimento de ensaio

Em laboratório devem ser tomadas certas precauções para assegurar a integridade dos dados e assegurar um certo rigor e controlo sobre os estímulos ambientais que possam alterar a atenção da *performance* dos voluntários. Estes encontram-se no interior da Câmara Climática isolados de qualquer ruído, afastados de quaisquer distrações (relógios, telemóvel), onde podiam ser observados pelos investigadores através da câmara Web utilizada, sem que os voluntários os conseguissem visualizar. O nível de iluminância foi mantido de forma constante durante os ensaios (iluminação normal de escritório).

Procedimento geral:

1. Ligar a Câmara Climática pelo menos 4 horas para estabilizar valores das variáveis ambientais.
2. Verificar a bateria dos equipamentos: *Emotiv*, *Monitor Plux*, *Equivital* (se aplicável).
3. Sincronização de relógios dos computadores.

Inicialmente efetua-se a sincronização dos dois computadores, através do acerto dos respetivos relógios de modo a evitar discrepâncias no tempo de recolha do sinal. Qualquer discrepância verificada entre a captação dos sinais cerebrais e a gravação do vídeo deve ser anotada (anotação do atraso temporal entre EEG e vídeo).

4. Receção e preparação do voluntário no laboratório.

É fornecida aos voluntários uma breve explicação da natureza do ensaio e a descrição das tarefas, bem como de todo o equipamento a utilizar e o preenchimento do questionário de sensação térmica no início e final do ensaio.

5. Questionar o voluntário sobre qualquer dúvida
6. Leitura e assinatura da declaração de consentimento informado, se for a primeira vez que o voluntário comparece para o ensaio. O modelo deste consentimento encontra-se no AnexoII.
7. Registar na ficha individual de ensaios (FIE) a temperatura e humidade do laboratório e no interior da Câmara Climática, enquanto o voluntário lê o CI e/ou troca de roupa no balneário.

8. Registrar o peso do voluntário na FIE, após este subir lentamente na balança onde se deve colocar de pé de frente para o investigador que se encontra de frente para balança.
9. Registrar, na FIE a altura. O voluntário deve colocar-se em pé de costas para o avaliador, onde as costas, cabeça, pernas e calcanhares devem estar encostados à régua da balança
10. Colocar os sensores da pele na testa e pescoço do voluntário, que se encontra sentado numa cadeira no exterior da Câmara Climática, de acordo com a ISO 9886, 2004) com ajuda de fita adesiva médica; estabilização da temperatura da pele durante 20 minutos para se assemelhar com a temperatura ambiente do laboratório (condições iniciais). Este procedimento é essencial para garantir uma maior standardização entre todos os ensaios.
11. Nas condições de 32°C e 80% de Humidade Relativa, é necessária a prévia ativação do sensor térmico: abertura da embalagem que contém o sensor térmico utilizando luvas, retiro do sensor e sua aproximação do ativador. Com ajuda de *software* próprio do *Equivital*, é possível verificar a ativação do sensor através do aparecimento de um número de identificação do sensor. Este número deve ser colocado numa pulseira própria que o voluntário deve usar quando ingerir o sensor. É adequado que o voluntário ingira o sensor térmico pelo menos 8 horas antes do ensaio, com supervisão e prévia explicação da sua utilização e dos cuidados a serem seguidos. A pulseira indica a impedição em realizar ressonâncias magnéticas, informação é fundamental caso o voluntário venha a ter algum problema de saúde. Colocar o colete onde está instalado o equipamento que vai detetar a presença da cápsula no interior do organismo e transmitir os dados da temperatura interna.
12. Efetuar quatro perguntas relativas ao estilo de vida do voluntário: a) Ingeriu bebidas com cafeína nas últimas 12h? b) Ingeriu bebidas alcoólicas nas últimas 12h? c) Tomou algum tipo de medicamento? d) Repousou bem durante a noite?
13. Após o período de repouso inicial (20 minutos), instalar o voluntário na Câmara Climática e fornecer o Questionário de Sensação Térmica (AnexoI).
14. Colocar EEG na cabeça do voluntário, com prévia colocação de soro fisiológico nos elétrodos que o constituem. A colocação de EEG na cabeça do voluntário deve ser efetuada com cuidado, com prévio embevecimento das esponjas com soro fisiológico, sua colocação nos elétrodos, permitindo assim uma maior condutividade para os sinais cerebrais. De notar que todos os elétrodos têm que estar verdes para uma melhor otimização do respetivo sinal cerebral.
15. Disponibilizar no monitor a Tarefa cognitiva Go-No Go, a realizar durante 60 minutos.
16. Iniciar o ensaio, em simultâneo com a iniciação do programa de captação visual.
17. Nas condições de 35°C de temperatura e 80% de humidade, o voluntário é questionado a cada intervalo de 20 minutos sobre o seu estado de conforto térmico.
18. Finalizar o ensaio após o tempo estipulado (60 minutos).
19. Desligar o *headset Emotiv*, Monitor *BioPlux*, e *Equivital* (se aplicável).
20. Fornecer o Questionário de Sensação Térmica (AnexoI).
21. Sair da Câmara Climática.
22. Retirar o *headset* da cabeça, os sensores colocados na pele e o colete (se aplicável).
23. Pesar novamente o voluntário e registar o valor na FIE.
24. Gravar os dados, do Monitor *BioPlux*, *Equivital* e *Emotiv*.
25. Limpeza do equipamento.

Deste modo, no início do ensaio, o voluntário encontra-se sentado numa cadeira localizada em frente ao monitor, com o equipamento *Emotiv* devidamente instalado e colocado na sua cabeça, os elétrodos do equipamento *BioPlux* aplicados no pescoço e na testa, devidamente ligado, a ser filmado pela câmara Web instalada na parte superior do monitor de computador, devidamente isolada com papel aderente para proteção das elevadas temperaturas e humidade relativa. Na Condição 2, o voluntário tem ainda colocado o equipamento *Equivital*. A Figura 13 é ilustrativa de uma das imagens obtidas com recurso à câmara Web.



Figura 13: Captação de imagem durante o ensaio de um voluntário.

3.4 Tratamento de Dados

A análise dos sinais recolhidos e as respetivas análises estatísticas foram realizadas usando para o efeito o programa *Excel* (*Microsoft Office* 2013), para organização dos dados e representação gráfica dos dados relativos ao questionário de sensação térmica, dos vídeos e EEG. No tratamento de dados relativos a EEG utilizaram-se ainda o programa *Matlab* 8.0.1.604 (R2013a) e o *software Eeglab* baseado nos princípios do *Matlab*, desenvolvido em 2002 no *Swartz Center for Computational Neuroscience, Institute for Neural Computation*, Universidade da Califórnia San Diego⁹. Este *software* foi desenvolvido para ser utilizado no processamento de dados contínuos ou relativos a eventos de sinais EEG ou outros dados fisiológicos. O *Eeglab* permite diferentes tipos de visualização, análise e processamento de sinais EEG, nomeadamente a utilização do método ICA e de outros procedimentos de filtragem no domínio das frequências.

3.4.1 Questionário de Sensação Térmica

No que respeita à variável subjetiva, é possível observar nos gráficos elaborados, a sensação térmica dos indivíduos em termos de percentagem, resultante da aplicação do Inquérito baseado na escala de sete sensações, primeiramente para a Condição 1 (Gráfico 2) e seguidamente para Condição 2 (Gráfico 3).

⁹ *Software* disponível em: <http://scn.ucsd.edu/>

Relativamente às respostas ao Questionário de Sensação Térmica na Condição 1, quando a entrada na Câmara Climática, os voluntários tiveram diferentes opiniões relativamente à sensação percebida por eles, existindo sensações diferentes (20% ambiente fresco, 20% ambiente neutro e 10% ambiente frio), sendo a mais significativa a percepção de um ambiente ligeiramente fresco por 50% dos voluntários. Em relação à sensação desejada, 70% dos voluntários preferiam que o ambiente fosse mais quente, e 30% preferiam ambiente neutro. Relativamente à sintomatologia apresentada, 90% dos voluntários não apresentou nenhum sintoma e 10% já apresentava sonolência. No final do ensaio, já se verificou uma maior convergência de opiniões dos voluntários. Verificou-se que as sensações de ambiente neutro e de ligeiramente fresco desapareceram, surgindo a sensação ligeiramente morno (10%), aumentando significativamente a percepção relativamente a um ambiente fresco (40%) e ambiente frio (50%), em relação ao início do ensaio. De forma inequívoca, todos os voluntários manifestaram preferência que o ambiente fosse mais quente. A sintomatologia apresentada no final do ensaio foi muito diversificada, existindo sonolência (40%), cansaço (40%), calafrios (30%), apatia (10%), ansiedade (10%), perda de coordenação motora (10%) e a apresentação de nenhum sintoma (20%).

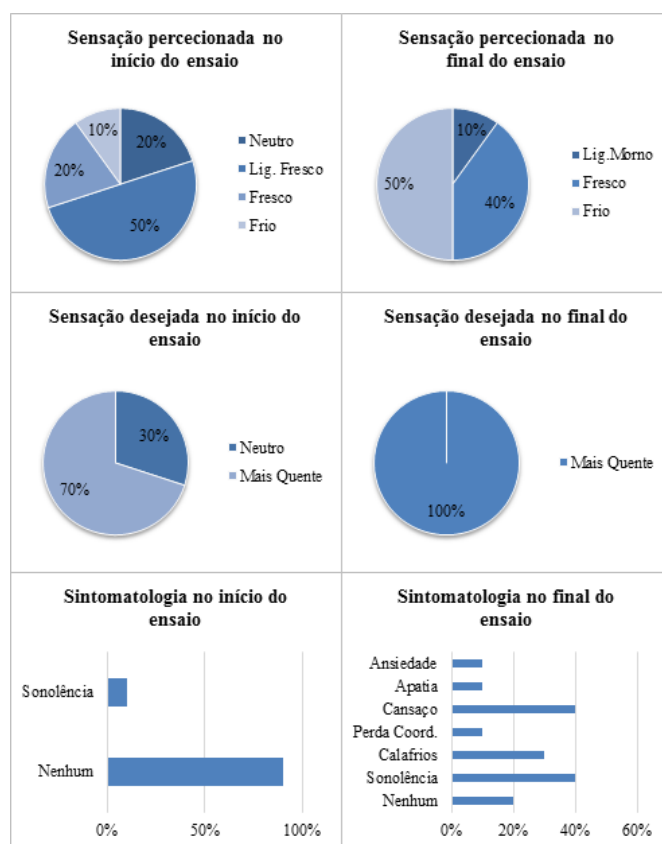


Gráfico 2: Resultados do Questionário relativos ao início e fim do ensaio na Condição 1.

Na Condição 2, pela análise dos gráficos verificou-se que os resultados ao questionário foram muito semelhantes, na entrada na Câmara Climática e no fim do ensaio. Nos dois momentos, pode-se verificar que a maioria dos voluntários (90%) classificou o ambiente como quente no interior da Câmara Climática, enquanto 10% teve a percepção de ambiente morno. 90% dos voluntários preferiam que o ambiente fosse mais frio, e 10% preferiam um ambiente neutro. Isto significa que a opinião dos voluntários não modificou ao longo da execução da tarefa, indicando os resultados as condições extremas em que os ensaios decorreram, não havendo em nenhum momento indícios de conforto térmico.

Na entrada da Câmara Climática, 70% dos voluntários não apresentou nenhum sintoma, 20% apresentava sonolência, 10% falta de ar (outro). No final do ensaio, 30% dos voluntários não apresentou nenhum sintoma, 60% apresentava cansaço, 40% sonolência, 10% tonturas e 10% outro. No final do ensaio verificou-se assim um maior número de sintomatologia apresentada,

onde por vezes o mesmo voluntário apresentava mais que um sintoma, denotando uma vez mais as características extremas da Condição 2.

A opinião dos voluntários manteve-se igual para as sensações perceptíveis e que gostariam de sentir, quer no início e fim do ensaio. No fim do ensaio, existe uma maior sintomatologia que no início do ensaio, bem como em comparação com a Condição 1.

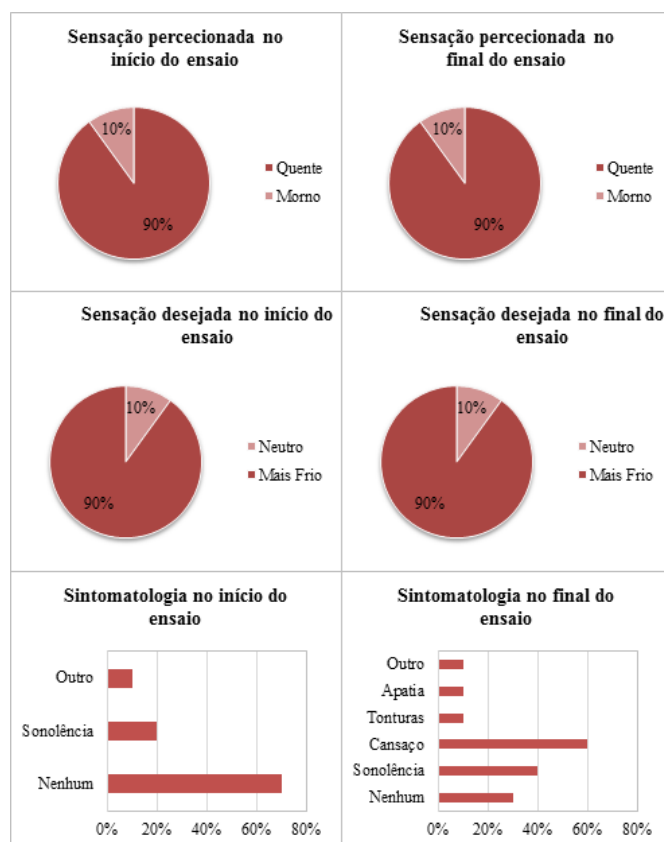


Gráfico 3: Resultados do Questionário relativos ao início e fim do ensaio na Condição 2.

Relativamente às perguntas individuais iniciais e a sua relação com a sintomatologia apresentada, na Condição 1 verificou-se do Universo dos voluntários que dormiram bem (6), 2 não tiveram sintomas (33.33%), e do Universo dos voluntários que não dormiram bem (4), todos sentiram sonolência (100%). Na Condição 2, verificou-se do Universo dos voluntários que não dormiram bem (2), 2 sentiram sonolência, tendo um deles sentido ainda tonturas, cansaço e apatia. Do Universo dos que dormiram bem (8), três não apresentaram sintomatologia (37,5%).

3.4.2 Recolha e tratamento dos dados dos Vídeos

Através da visualização dos vídeos obtidos com os voluntários durante o ensaio, foi possível a contabilização do número de pestanejos, tendo a contagem do número de pestanejos sido realizada manualmente. A visualização dos vídeos foi efetuada por duas pessoas individualmente e perante a não concordância entre os valores obtidos, o vídeo era observado novamente em conjunto para nova contagem.

Devido a problemas técnicos verificados na execução dos ensaios, nem todos perfaziam os 60 minutos de ensaio previstos, tal como inicialmente tinha sido estipulado. Por tal motivo, decidiu-se selecionar apenas para estudo e elaboração dos gráficos, os valores desde o minuto 1 de ensaio

até ao minuto 50, inclusive, perfazendo um total de 50 minutos de ensaio, permitindo assim a comparação de todos os ensaios por igual.

Para cada ensaio contabilizou-se a ocorrência de pestanejos em cada minuto, até o final do ensaio, com recurso ao programa *Excel* e elaboração de tabelas contendo a informação relevante (minutos, segundos, totalidade em segundos, diferença entre cada valor temporal dos pestanejos, e anotação do atraso verificado no início do ensaio, entre o início da gravação de EEG e do vídeo pela câmara Web). De seguida elaborou-se uma tabela contendo a contagem do número total de pestanejos por cada minuto, que se encontra no Anexo III, informação essa que foi representada em gráfico. De modo a mostrar tendências globais e a facilitar a análise dos dados, ajustaram-se modelos de regressão, linear e polinomial do 2º grau, a cada situação analisada. É também indicado o valor do desvio padrão (DP), uma medida do grau de dispersão dos valores em torno da média. No entanto, no caso de existência de deriva e portanto de não estacionaridade da média, um DP elevado pode ser reflexo apenas desse facto, não indicando necessariamente que os dados têm elevada dispersão em torno do modelo de deriva ajustado.

Alguns ajustes pelo modelo linear evidenciam a existência de derivas mais ou menos pronunciadas e outros aproximam-se da situação de estacionaridade da média. O ajuste de alguns modelos polinomiais também evidencia a existência de derivas mais ou menos pronunciadas, com crescimento monótono. Pela razão referida anteriormente, o DP, é mais representativo da variabilidade dos dados na ausência de deriva, podendo o seu valor ser muito pouco representativo da variabilidade dos dados em torno do modelo de deriva.

Calculou-se ainda a frequência relativa de pestanejos, através da divisão do número total de pestanejos pela duração total do ensaio, e o respetivo DP.

A divisão parcelar da frequência média global do número de pestanejos em três momentos (parte inicial, intermédia e final) foi efetuada segundo vários passos. Procedeu-se à divisão do tempo total (3060 segundos) pelo algarismo três para definição dos valores máximos e mínimos de cada intervalo, seguindo-se o respetivo cálculo da frequência para cada um dos intervalos. Com a frequência intervalar de todos os ensaios, efetuou-se o cálculo da frequência média global por intervalo de tempo, para Condição 1 e Condição 2, separadamente, bem como da frequência média por minuto.

Também se efetuou o cálculo e respetiva representação gráfica de: frequência média global do número de pestanejos por minuto; tempo médio entre pestanejos, calculado pelo valor mínimo obtido da diferença temporal entre cada pestanejo; média do número de pestanejos/minuto; número máximo e mínimo do número de pestanejos; DP; e número de pestanejos.

Na análise dos vídeos, *offline*, verificou-se o congelamento da imagem e alguma desfocagem momentânea, acontecimentos que podem ter prejudicado a contagem dos pestanejos.

Apesar de as condições laboratoriais terem sido ao máximo controladas, as interrupções verificadas aquando a entrada na Câmara Climática para resolução dos problemas técnicos pode ter sido causa de distrações nos voluntários, podendo, deste modo, ter influenciado os resultados obtidos, para além de que alguns voluntários se mostrarem impacientes e com a cabeça em constante movimentação no decorrer dos ensaios.

3.4.3 Tratamento dos Dados EEG

Os dados EEG encontram-se inicialmente armazenados no *software Emotiv Test Bench* (Versão 1.5.1.2, 2010), em formato *.edf*.

Utilizaram-se dois *scripts* para *Matlab* da autoria de Pedro Almeida, FPCEUP, que permitiram respetivamente, a conversão dos ficheiros *.edf* obtidos pelo *Emotiv Test Bench* para os diferentes ensaios, contendo toda a informação dos sinais cerebrais e a filtragem passa-alto e passa-baixo inicial. A filtragem passa-baixo a 30 Hz foi procedida de filtragem passa-alto a 0,5 Hz. Resumindo, na operação de filtragem são removidas/filtradas as componentes do sinal abaixo de 0.5 Hz e acima de 30 Hz, pelo que a banda de frequências do sinal filtrado será, 0,5 - 30 Hz. Após os referidos procedimentos, obtém-se um ficheiro com terminação 'lp_hp.set', que será utilizado num dos passos seguintes com a designação "ficheiro pré-ICA".

A tentativa de filtragem dos sinais EEG, com o propósito da remoção da componente de pestanejar, foi realizada em ambiente *Eeglab*, utilizando-se novo script, com a aplicação da função RunICA.

Após a aplicação do método ICA foram seguidos alguns passos para todos os ensaios, diretamente no *Eeglab*:

- Localização dos canais: realizada através de comandos esquematizados na figura 14, tendo-se obtido a Figura 15.

File → load existing dataset → channel locations → by name/by number

Figura 14: Esquematização dos comandos a executar em *Eeglab* para a localização de canais.

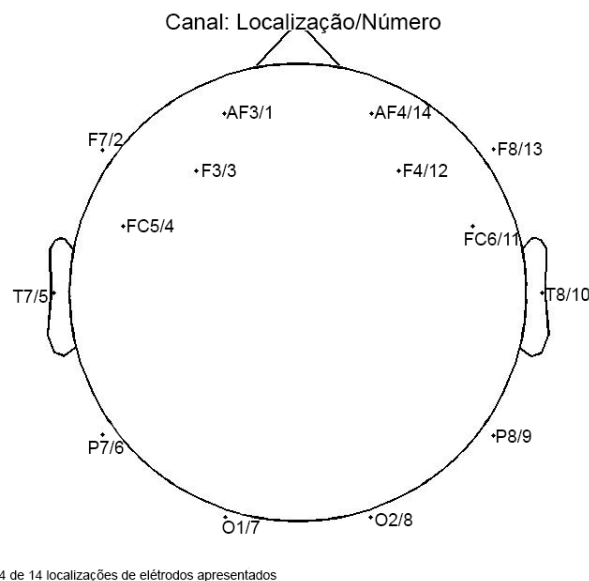


Figura 15: Disposição dos canais, localização dos elétrodos.

É possível verificar pela visualização da Figura 15 que os canais 1 e 14 se encontram localizados na parte frontal do escalpe. Sabe-se que a atividade do pestanejar é mais proeminente na parte frontal do escalpe e exhibe grandes potenciais monopulares de curta duração no tempo (Luck, 2014).

- Visualização da topografia das 14 componentes nas representações gráficas do escalpe

Após a aplicação do método ICA, obtiveram-se 14 componentes independentes, através da execução dos comandos presentes na figura 16, em *Eeglab*. As topografias dos componentes nos diagramas do escalpe fornecem evidências da sua origem biológica (Figura 17).

Component maps In 2-D → component numbers→14

Figura 16: Esquemática de comandos para visualização da topografia 14 componentes independentes.

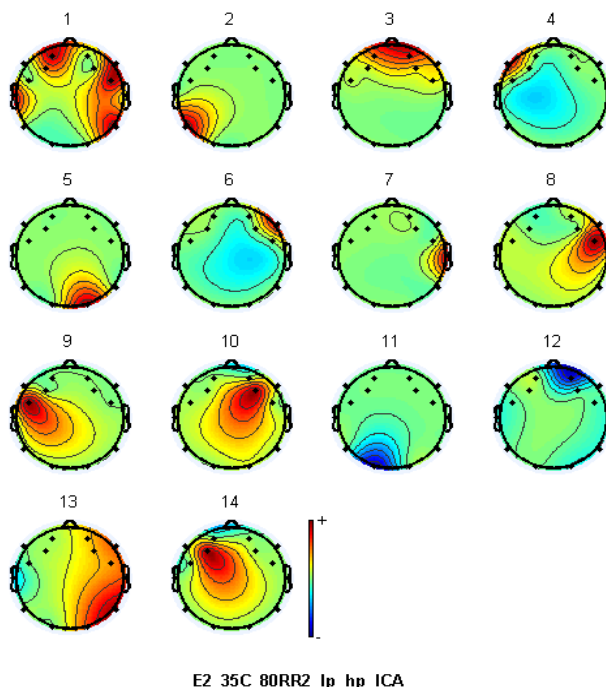


Figura 17: Diagramas do escalpe - topografia 14 componentes, Ensaio 2, voluntário 1

Foram analisadas as topografias das diferentes 14 componentes independentes nos diagramas do escalpe e escolheu-se manualmente a componente cuja topografia se considerou ter características que mais indicavam a presença do efeito do pestanejar. Para o caso exemplificativo, Ensaio 2, escolheu-se a componente 3, por, aparentemente, ser a componente mais relacionada com o pestanejar e apresentar uma maior proeminência principalmente projetada na região frontal, como referido anteriormente (Figura 18).

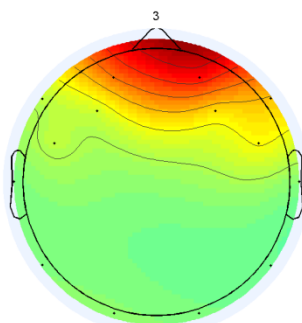


Figura 18: Topografia da componente 3 com características semelhantes ao pestanejar.

- Inspeção manual do sinal e rejeição da componente identificada anteriormente, que mais sugere relacionar-se com o artefacto ocular pestanejar.

Depois de identificada a componente que mais sugere relacionar-se com o pestanejar, verificou-se se algum dos 14 canais sofria uma alteração visível no seu sinal, caso ocorresse a rejeição da componente. Após anotação do canal mais afetado (canal 14 para o Ensaio 2) e a remoção da componente identificada com pestanejar, obteve-se um ficheiro com terminação 'pruned with

ICA.set', que será daqui em diante denominado "ficheiro pós-ICA". Para a inspeção manual e remoção da componente foram realizados os comandos presentes na figura 19.

'Tools'→'remove components'→'components to remove from data' (component 3) →'plot single trials'
para confirmar visual da remoção (alteração canal 14) →'accept'→denominação_pruned with ICA

Figura 19: Esquematização de comandos para inspeção manual e remoção da componente 3.

Para a obtenção de um ficheiro contendo, tanto quanto possível, apenas a componente de interesse para o presente estudo (componente pestanejar), foi necessário realizar a diferença entre o ficheiro resultante da primeira filtragem (pré-ICA) e ficheiro resultante da seleção da componente para tentar eliminar o efeito do pestanejar (pós-ICA).

Primeiramente, realizou-se a conversão dos ficheiros pré-ICA e pós-ICA com formato *.set* através da conversão para o formato *.csv* em *Eeglab* através dos comandos: **File→Export→Data and ICA activity to text file→output file name→.csv.**

Em ambiente *Matlab*, elaborou-se um *script*, que permite efetuar a diferença entre os referidos ficheiros para todos os ensaios. O ficheiro das diferenças para os 14 canais (formato *.txt*) contém assim, supostamente, o sinal com a componente pretendida, ou seja, o pestanejar.

Destes 14 canais selecionou-se unicamente o que foi identificado como tendo sofrido uma maior alteração aquando da remoção da componente que mais se assemelhava a pestanejar. De um modo geral, estes canais corresponderam aos canais 1 e 14, respetivamente canais frontais AF3 (selecionado por sete vezes) e AF4 (selecionado por treze vezes).

De modo a ser avaliada a fiabilidade dos sinais obtidos anteriormente e a possibilidade da sua futura utilização como ferramenta de investigação para diversos estudos envolvendo a componente pestanejar, procurou-se quantificar a correlação entre a informação temporal contida nesse sinal (tempo de ocorrência dos picos de maiores amplitudes), com os tempos dos pestanejos obtidos através da visualização dos vídeos.

Elaborou-se um ficheiro *Excel*, para cada ensaio, contendo o tempo de ocorrência de cada pestanejo, obtido pela visualização dos vídeos durante 50 minutos. Este ficheiro já inclui o atraso verificado entre o início da gravação dos dados EEG e gravação dos vídeos, devidamente anotado aquando a realização do ensaio.

Com este ficheiro *Excel* e o sinal EEG das diferenças correspondente ao canal referido, procedeu-se à sua representação gráfica, em ambiente *Matlab*.

Assim, aparecem graficamente representados o sinal EEG relativo à suposta componente pestanejar e os pestanejos contabilizados no vídeo, apresentados sob a forma de asterisco (*).

Verificaram-se problemas técnicos com o *headset* do equipamento *Emotiv* relacionado com o difícil contacto entre elétrodos e o couro cabeludo dos voluntários e a fragilidade inerente a cada elétrodo.

PARTE 2

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos pela visualização dos vídeos, as respostas às questões colocadas inicialmente, as respostas aos questionários no que diz respeito à sintomatologia apresentada, e os resultados obtidos pela comparação dos pestanejos obtidos por câmara Web e via EEG, realizando-se ainda a sua análise e discussão.

4.1 Resultados da visualização dos vídeos

Numa primeira análise global dos gráficos dos pestanejos, a sua evolução temporal parece ter características aleatórias, muita oscilação e grande variação de valores, sem estrutura aparente.

No entanto, com a análise mais detalhada de cada um dos gráficos, para cada condição ambiental de temperatura e humidade (Condições 1 e 2), pode-se inferir a existência de algumas relações e justificar a ocorrência das oscilações verificadas, baseada na bibliografia consultada e nas respostas dos inquéritos.

● Voluntário 1 – V1

O Gráfico 4 é relativo ao pestanejar do voluntário 1, na Condição 1, com uma frequência do pestanejar de $26,92 \pm 6,97$. Verifica-se, genericamente, a variação do número de pestanejos, traduzido pelo modelo de regressão polinomial de 2º grau, ajustado aos dados discretos. Através de uma análise mais detalhada, verifica-se um aumento inicial bastante significativo até ao minuto 5, existindo de seguida muitas flutuações até cerca do minuto 34, diminuindo de seguida até cerca do minuto 47. Antes do ensaio, o voluntário tinha tomado dois cafés e dormido bem e não apresentou sintomatologia no final. O número reduzido de pestanejos no início do ensaio pode ser devido à fase de adaptação do voluntário à tarefa cognitiva. O aumento verificado perto do minuto 31 pode ser devido a uma tentativa por parte do voluntário em contrariar a monotonia da tarefa (McIntire et al., 2014).

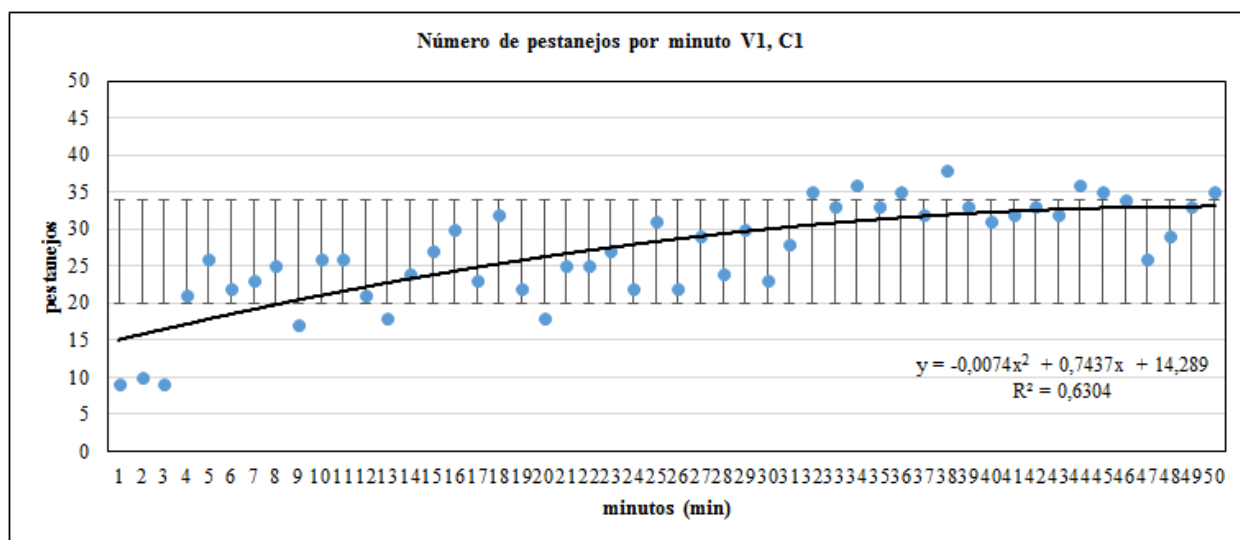


Gráfico 4: N° de pestanejos/min, voluntário 1, Condição 1, DP e modelo de regressão

Retirando, no Gráfico 4, os três minutos iniciais do ensaio pode-se verificar, no Gráfico 5, como um número muito reduzido de pontos iniciais pode alterar significativamente o modelo global ajustado, assim como o respetivo DP.

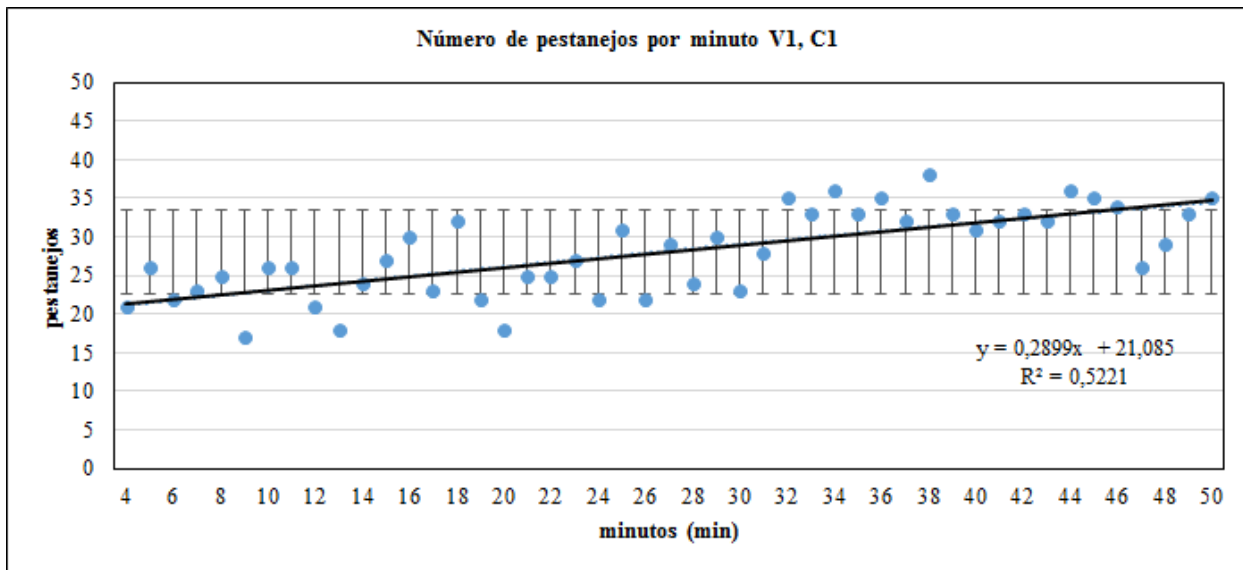


Gráfico 5: N° de pestanejos/min no voluntário 1, Condição 1, sem os 3 minutos iniciais

No Gráfico 6 apresentam-se os valores relativos ao mesmo voluntário, na Condição 2, o mesmo que obteve uma frequência do pestanejar de $34,82 \pm 3,36$, superior à da Condição 1, com menor variação de valores. O modelo de regressão aplicado é de carácter polinomial, inicialmente crescente e na parte final decrescente, caracterizado por uma linha curva usada quando se verifica flutuação dos dados. Pela análise do gráfico, verifica-se que inicialmente, existe a variação em torno do valor médio 33, até ao minuto 17, período intermédio do ensaio no qual se verifica o aumento no número de pestanejos, com variação em torno do valor médio 37. No período final do ensaio verifica-se uma diminuição no número de pestanejos, variando em torno do valor médio 33, tal como no início do ensaio. O voluntário tinha tomado um café e dormido bem, sem apresentação de sintomatologia no final. Aos 20 minutos de ensaio, quando questionado sobre o seu estado, o voluntário tinha a percepção de sonolência, facto que talvez explique o verificado aumento do número de pestanejos no período intermédio do ensaio, resultante da tentativa de contrariar o estado de sonolência. Deste modo, o voluntário pode ter começado a pestanejar mais frequentemente, aumentando o esforço cognitivo. Quando o estado de vigília diminui, o declínio da *performance* cognitiva pode ser compensado pelo aumento do esforço cognitivo e conduzir, em média, a uma nova diminuição do número de pestanejos (Wascher et al., 2014).

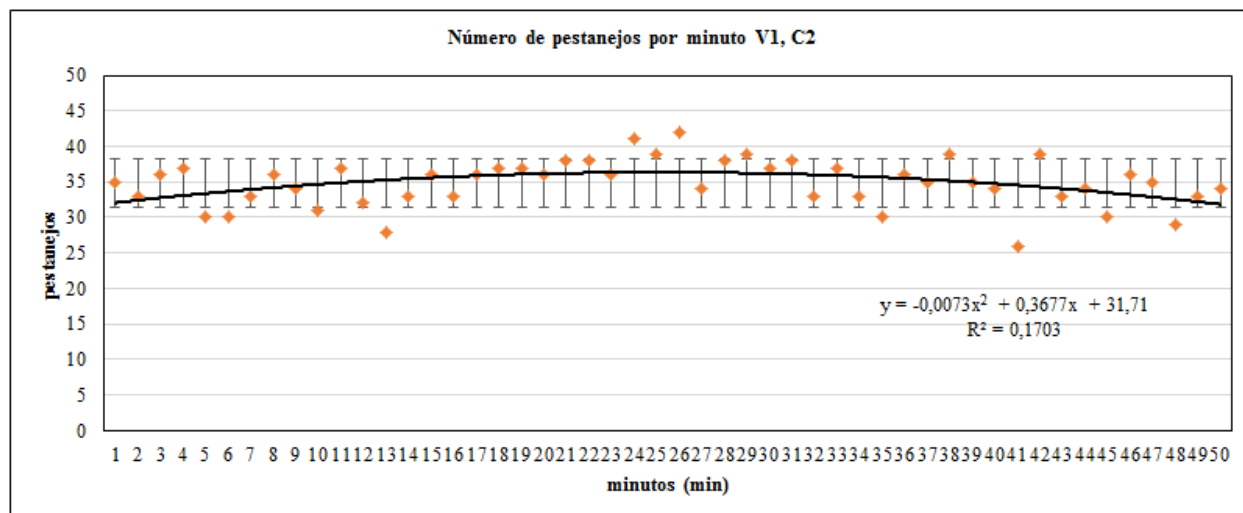


Gráfico 6: N° de pestanejos/min, voluntário 1, Condição 2, DP e modelo de regressão.

● Voluntário 2 – V2

No Gráfico 7 encontram-se os dados relativos ao pestanejar do voluntário 2 na Condição 1, que teve uma frequência do pestanejar de $35,28 \pm 8,45$. Utilizou-se um modelo de regressão polinomial de 2º grau. A análise do gráfico permite inferir a existência de oscilação dos valores, começando com um salto inicial nos primeiros minutos de ensaio, com uma posterior tendência para estabilizar, em torno aproximadamente do valor 38. O voluntário não tomou café e no final do ensaio tinha perdido coordenação motora. Os dados obtidos neste ensaio são muito semelhantes ao ensaio do voluntário 1, Condição 1, relativamente aos minutos iniciais do ensaio, uma vez que também ocorre um aumento significativo do número de pestanejos no início do ensaio, facto que talvez possa ser explicado mais uma vez pela adaptação do voluntário à tarefa cognitiva.

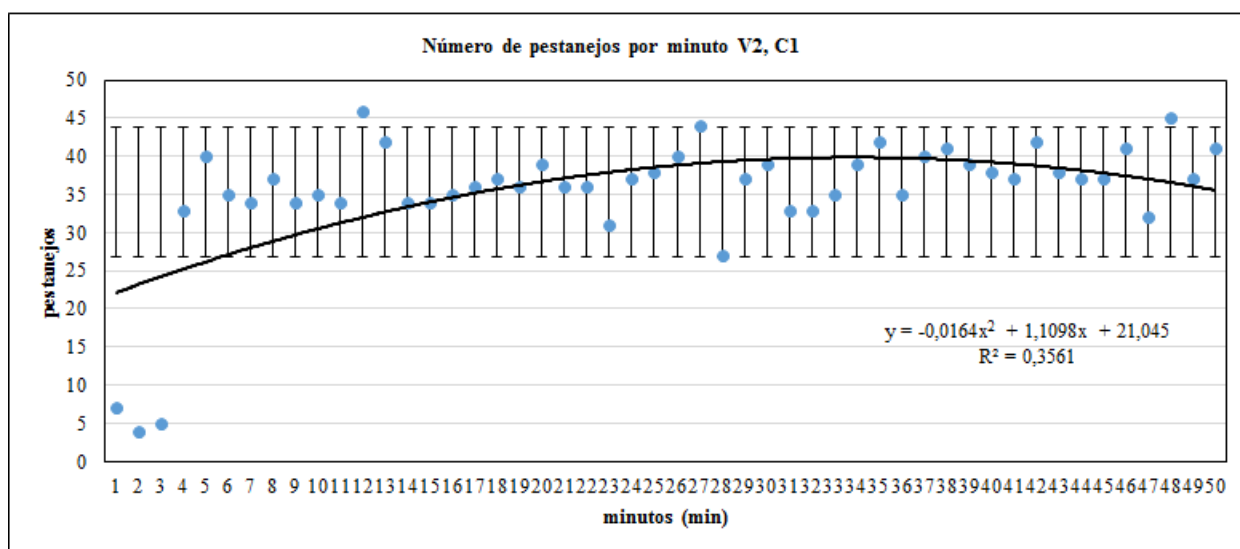


Gráfico 7: N° de pestanejos/min, voluntário 2, Condição 1, DP e modelo de regressão.

No Gráfico 8, é possível verificar, de novo, como a exclusão dos três minutos iniciais do ensaio no Gráfico 7, pode alterar significativamente o modelo global ajustado, assim como o respetivo DP.

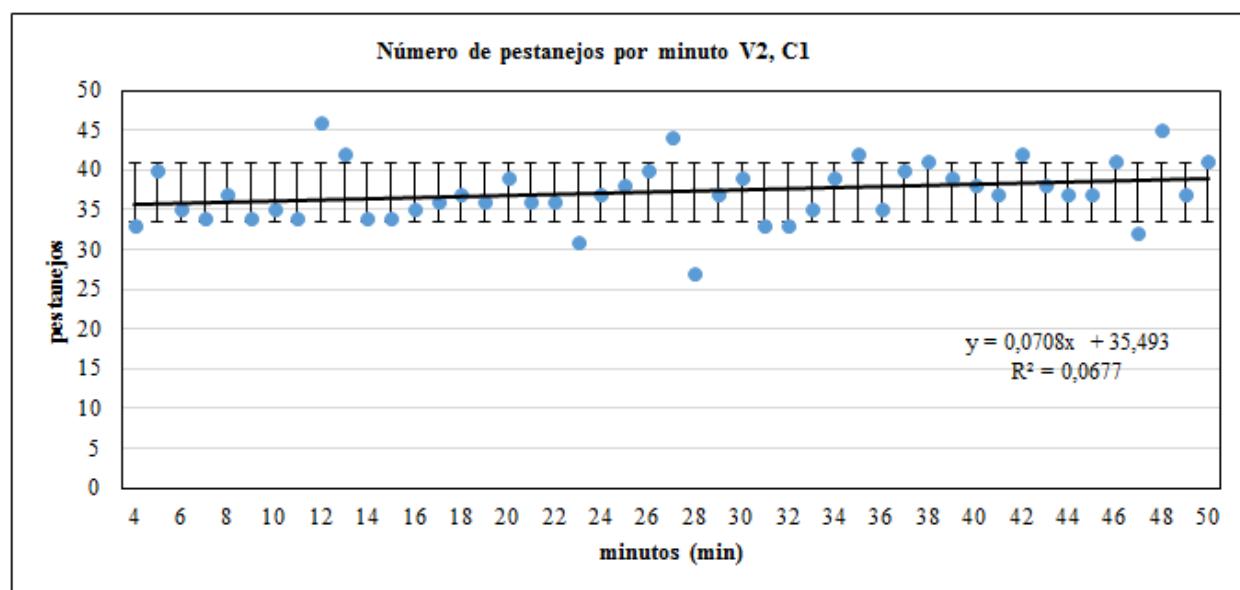


Gráfico 8: N° de pestanejos/min, voluntário 2, Condição 1, sem 3 minutos iniciais.

O Gráfico 9 é relativo ao número de pestanejos do mesmo voluntário, na Condição 2, que obteve uma frequência de pestanejar de $35,4 \pm 4,49$. Aplicou-se um modelo de regressão polinomial de 2º grau, com aumento inicial e posterior decréscimo na parte final. Verifica-se pela análise do gráfico a existência de alguma variabilidade nos valores do pestanejar, no entanto inferior à verificada na Condição 1. Ocorre o aumento do número de pestanejos no início do ensaio, mantendo-se quase em média constante até à parte final no ensaio, terminando com tendência para decréscimo. Perto do final do ensaio (40 minutos), o voluntário denotou sentir um maior cansaço, o que talvez possa explicar o ligeiro decréscimo do número de pestanejos a partir desse momento. Para além de cansaço, o voluntário também verificou estar mais concentrado, pelo que o pestanejar pode também ter decrescido devido ao aumento do nível de atenção. O voluntário não bebeu café antes do ensaio e não apresentou qualquer sintomatologia no final.

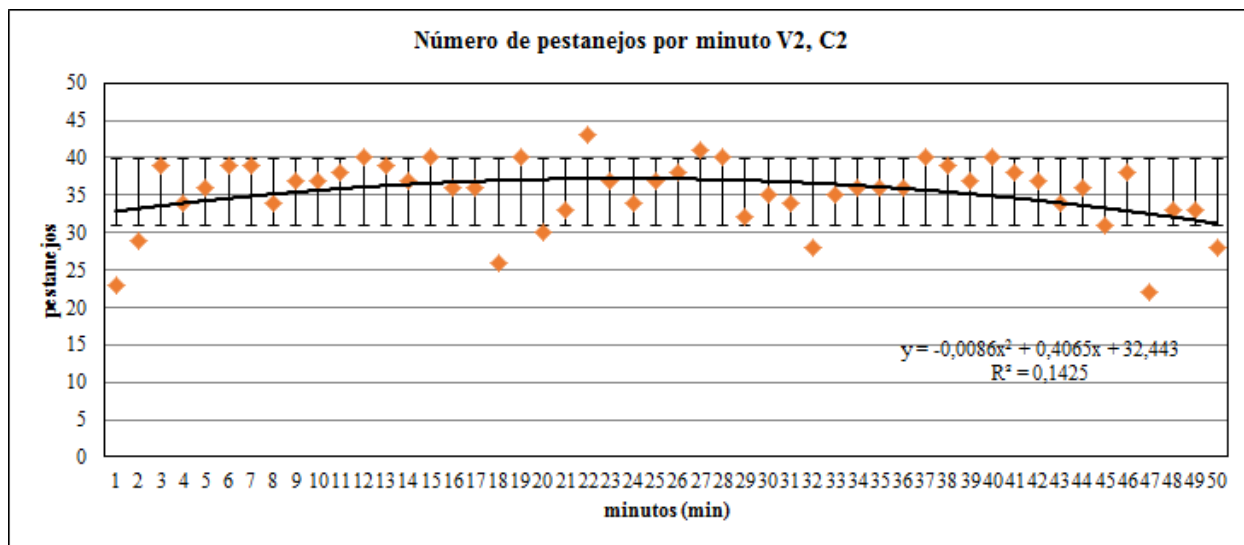


Gráfico 9: N° de pestanejos/min, voluntário 2, Condição 2, DP e modelo de regressão.

Retirando os dois minutos iniciais do ensaio no Gráfico 9, verifica-se que o modelo global ajustado passa a seguir uma tendência linear ligeiramente decrescente (Gráfico 10).

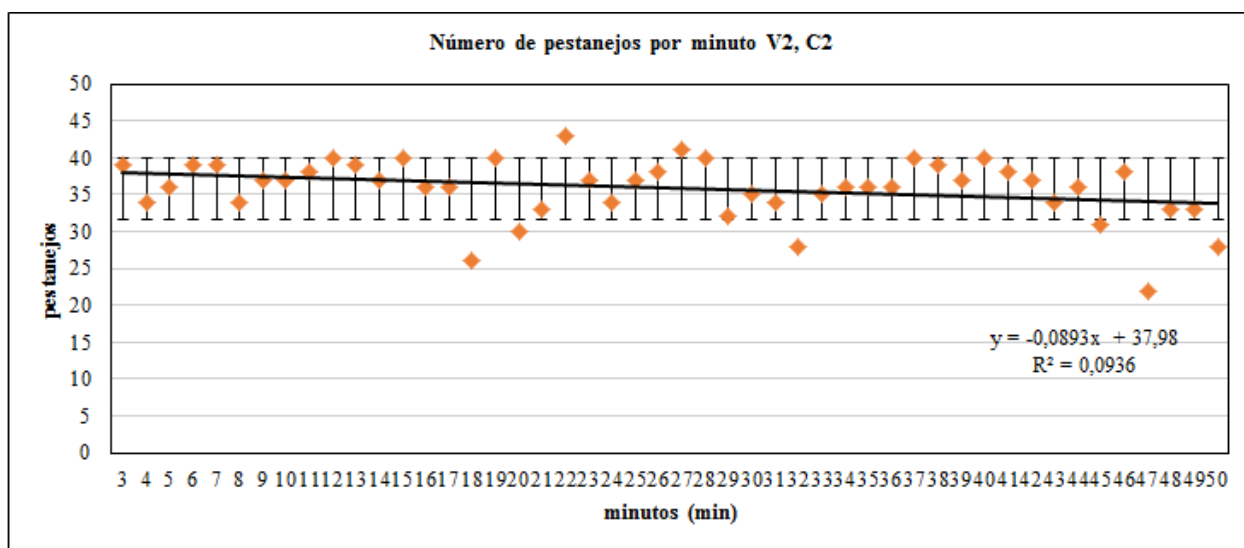


Gráfico 10: N° de pestanejos/min, no voluntário 2, Condição 2, sem 2 minutos iniciais.

É de realçar o facto que, embora nas duas Condições a tendência de valores seja diferente (ligeiro aumento na Condição 1 e ligeira diminuição na Condição 2), o voluntário nas duas Condições apresenta um pestanejar praticamente constante em média, pelo que tal facto talvez possa ser explicado pelas características individuais do voluntário, tal como referido por diversos autores (quando exposto a duas condições de temperatura e humidade relativa diferentes, o seu pestanejar é muito semelhante em ambos os casos) (Stern et al., 1994; Caffier et al., 2003; Wolkoff et al., 2005; Schleicher et al., 2008; Benedetto et al., 2011).

● Voluntário 3 – V3

O voluntário 3 na Condição 1 apresentou uma frequência do pestanejar de $28,34 \pm 4,94$. O Gráfico 11 permite verificar a estacionaridade da média. Contrariamente aos ensaios na Condição 1 para os voluntários 1 e 2, ocorre um decréscimo no número de pestanejos iniciais, passando a aumentar até ao minuto 7, entre este e o minuto 20 verifica-se uma grande flutuação dos valores. Esta variação de valores pode talvez ser explicada pela ocorrência de problemas técnicos com o EEG, tendo sido necessária a entrada na Câmara Climática para verificação do equipamento. O aumento verificado, em média, na parte no final do ensaio coincidiu com a apresentação da sintomatologia calafrios, que pode ter interferido com o estado emocional do voluntário.

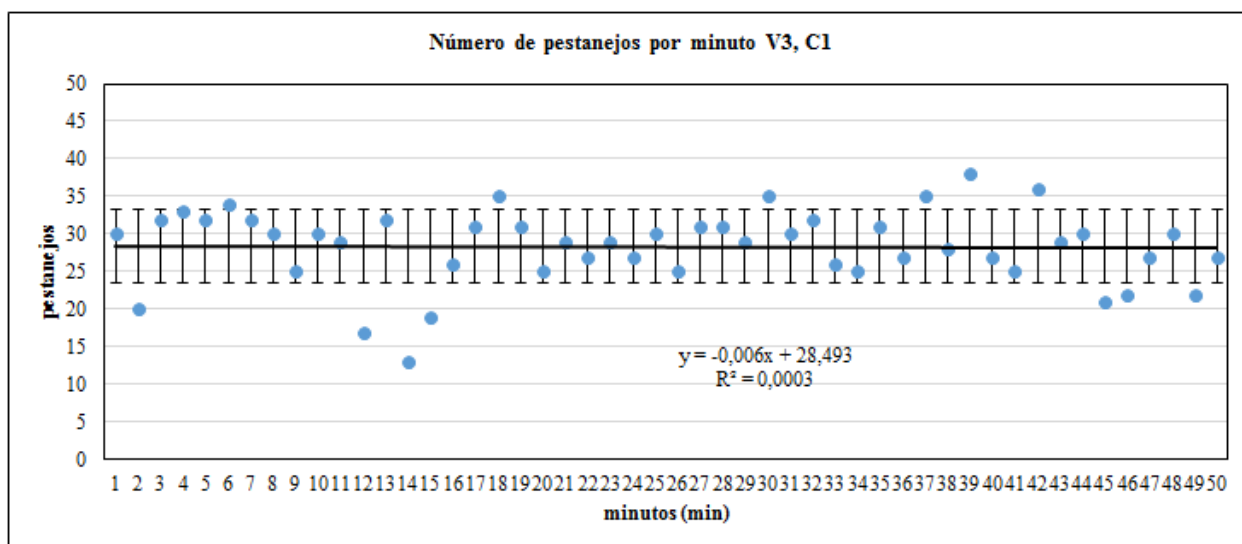


Gráfico 11: N° de pestanejos/min, voluntário 3, Condição 1, DP e modelo de regressão.

No Gráfico 12 encontram-se representados os dados relativos ao voluntário 3 na Condição 2, que obteve uma frequência do pestanejar de $31,68 \pm 7,36$. Utilizou-se um modelo de regressão polinomial de 2º grau, com aumento inicial e decréscimo, posteriormente, na parte final. No início do ensaio o voluntário apresentava sintomatologia de falta de ar, circunstância que talvez tenha influenciado a concentração nos primeiros dez minutos de ensaio, explicando o baixo número de pestanejos. O voluntário aos 20 minutos indicou estar mais cansado que no início e aos 40 minutos muito mais cansado e quase a adormecer (presença de sonolência). No final do ensaio apresentou sonolência, tonturas, cansaço, apatia, o que pode ter influenciado as oscilações presentes no gráfico, bem como o facto de o voluntário não ter dormido bem. O estado de sonolência pode justificar a diminuição do número de pestanejos, em média, na parte final do ensaio, tal como Caffier et al. (2003) referiu no seu estudo.

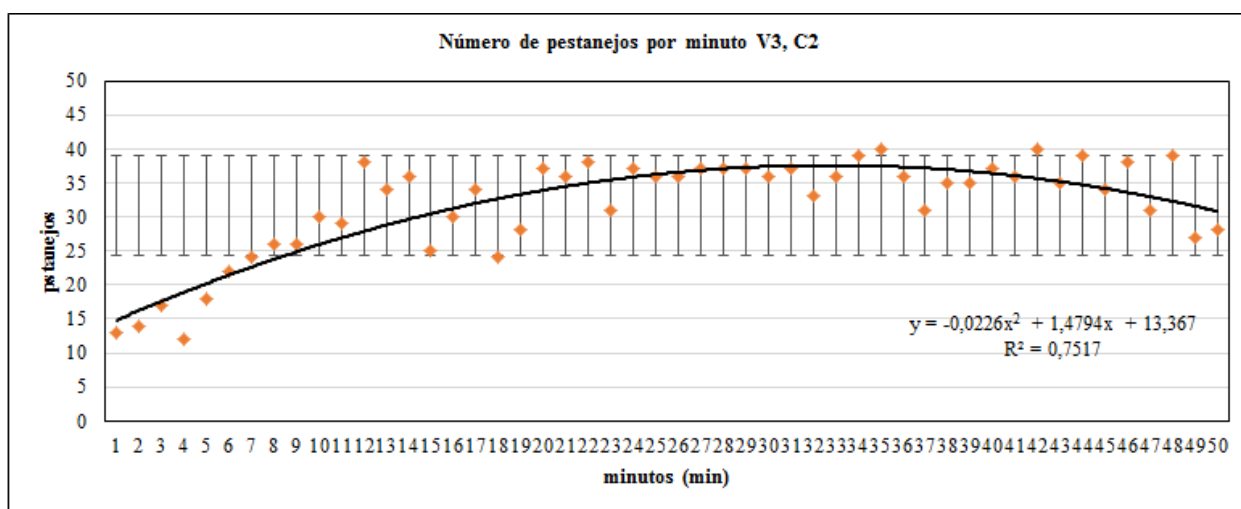


Gráfico 12: N° de pestanejos/min, voluntário 3, Condição 2, DP e modelo de regressão.

Removendo os sete minutos iniciais do ensaio do Gráfico 12, pode-se verificar, no Gráfico 13, que o modelo ajustado passa de polinomial, com um tramo crescente inicial e decrescente final, a linear, monotonamente crescente.

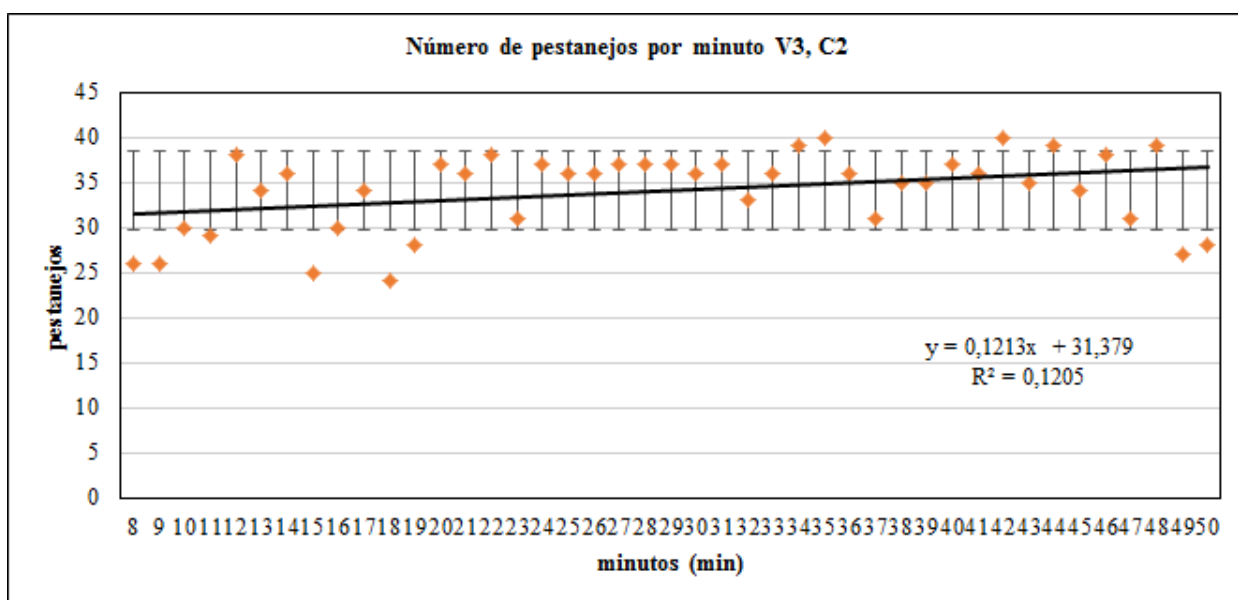


Gráfico 13: N° de pestanejos/min, voluntário 3, Condição 2, sem 7 minutos iniciais.

● Voluntário 4 – V4

O Gráfico 14 apresenta o comportamento dos pestanejos na Condição 1 do voluntário 4, o qual apresentou uma frequência de $18,02 \pm 4,90$. O modelo de tendência utilizado é uma regressão polinomial de 2º grau. Inicialmente, verifica-se no Gráfico 14 um ligeiro decréscimo nos primeiros minutos de ensaio (talvez justificado pelo tempo de habituação à tarefa cognitiva), aumentando de seguida, estabiliza até aos 29 minutos em torno de média constante à volta de 20, e na parte final varia em torno do valor 14.

Verifica-se que o período intermédio do ensaio contém o maior número de pestanejos, diminuindo progressivamente até ao fim do ensaio. Na parte final ensaio o voluntário apresentava calafrios e cansaço.

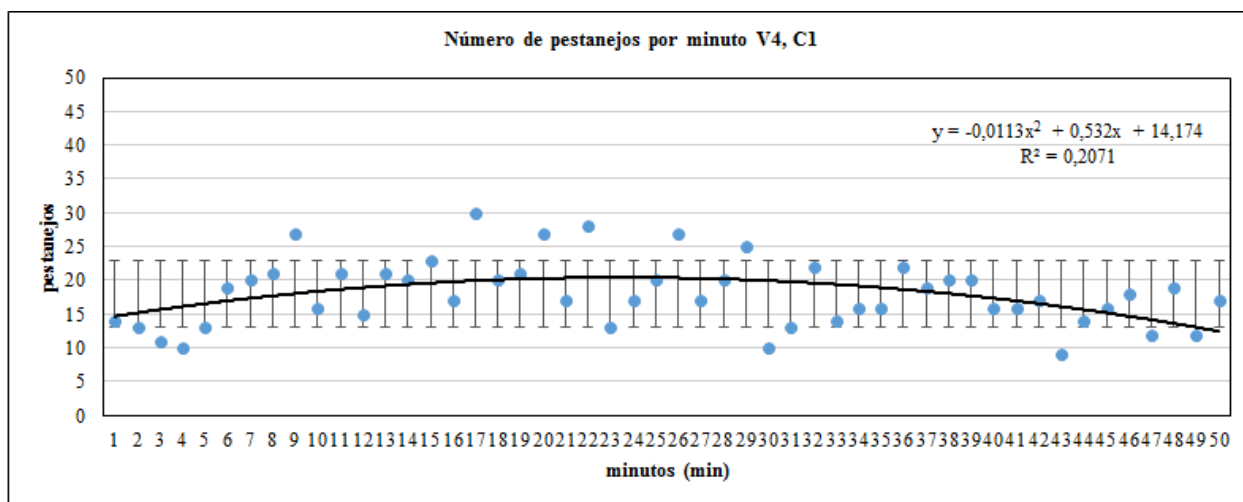


Gráfico 14: N° de pestanejos/min, voluntário 4, Condição 1, DP e modelo de regressão.

No Gráfico 15, observa-se o resultado da remoção, no Gráfico 14, dos quatro valores iniciais do ensaio, passando o modelo polinomial, com tramo inicial crescente e final decrescente, a um modelo linear monotonamente decrescente.

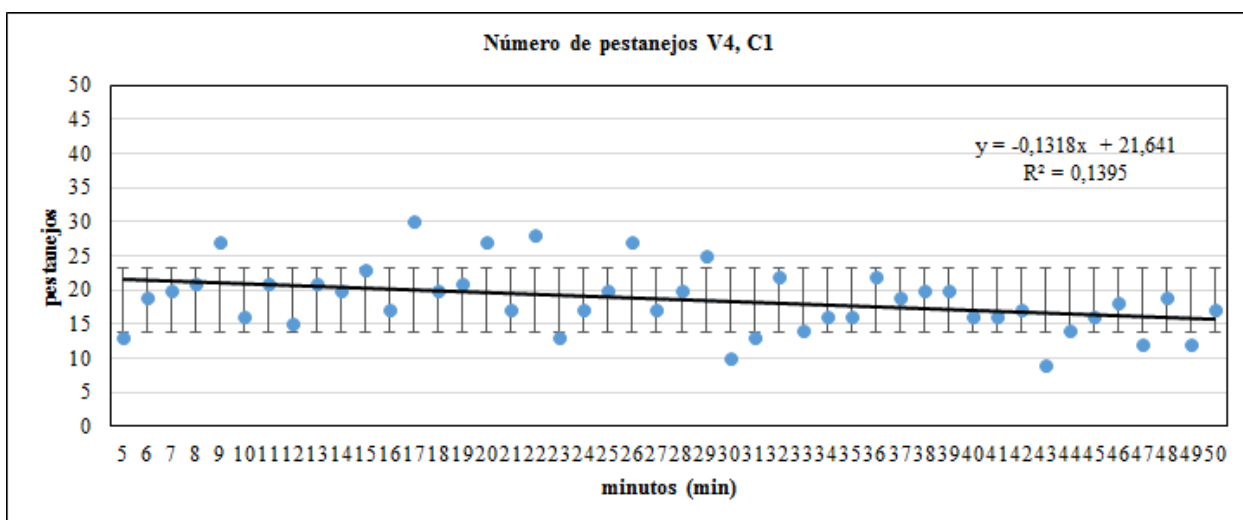


Gráfico 15: N° de pestanejos/min, voluntário 4, Condição 1, sem os 4 minutos iniciais.

O Gráfico 16 é relativo ao número de pestanejos na Condição 2, na qual o voluntário obteve uma frequência de $14,72 \pm 4,26$. É possível verificar no gráfico a estacionaridade da média. Existem algumas flutuações nos valores relativos ao número de pestanejos. O maior número de pestanejos encontra-se no período intermédio do ensaio. Antes do ensaio o voluntário não tinha dormido bem nem tomado café, e no final apresentava sonolência. Apresentava ainda algum cansaço a meio e no final do ensaio. O facto de não ter dormido bem para além de estar cansado pode ter influenciado a baixa frequência do pestanejar obtida neste ensaio.

É de realçar que nas duas Condições 1 e 2, a variação dos valores é semelhante, apesar de na Condição 1 haver uma tendência decrescente, e na Condição 2 a frequência média ser inferior à Condição 1, o voluntário no minuto 43 apresenta para as duas Condições 1 e 2 uma brusca inversão local de tendência, de decrescente para crescente. As características individuais do voluntário podem explicar os padrões semelhantes do número de pestanejos verificados (Stern et

al., 1994; Caffier et al., 2003; Wolkoff et al., 2005; Schleicher et al., 2008; Benedetto et al., 2011).

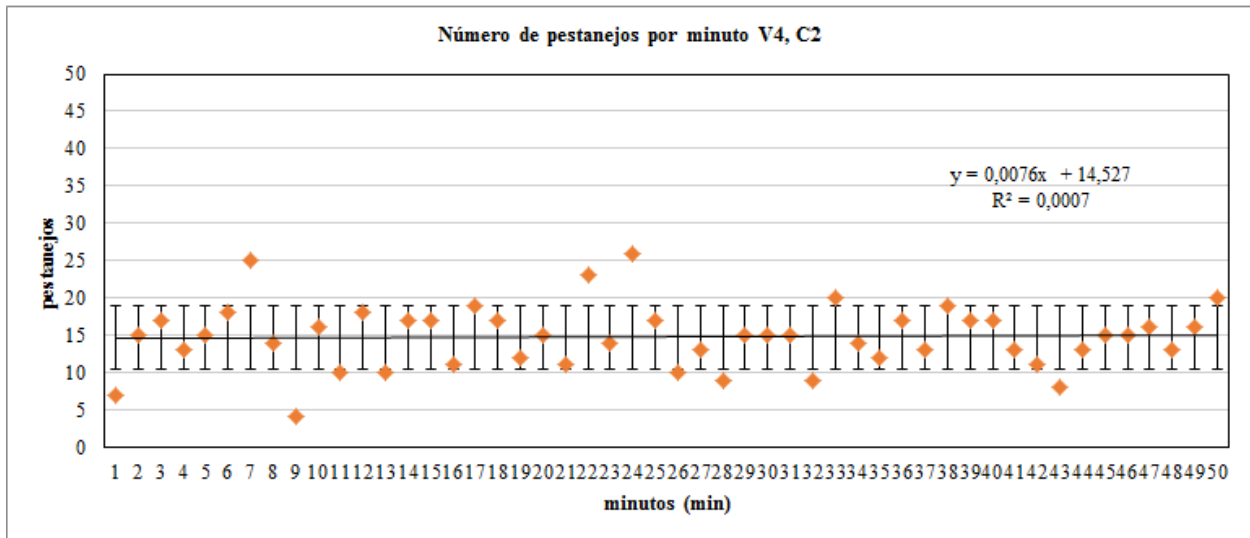


Gráfico 16: N° de pestanejos/min, voluntário 4, Condição 2, DP e modelo de regressão.

● Voluntário 5 – V5

O voluntário 5 para a Condição 1 teve uma frequência de $15,72 \pm 3,82$. O Gráfico 17 mostra o modelo de regressão polinomial com tendência crescente inicial e decréscimo na parte final. Verifica-se uma baixa frequência do pestanejar que varia em torno do valor 15. A partir do minuto 39, o número de pestanejos decresce. Pode-se observar que no início e no final do ensaio o número de pestanejos é inferior ao verificado na parte intermédia do ensaio. Nesse ensaio o voluntário não dormiu bem e no final apresentava sonolência.

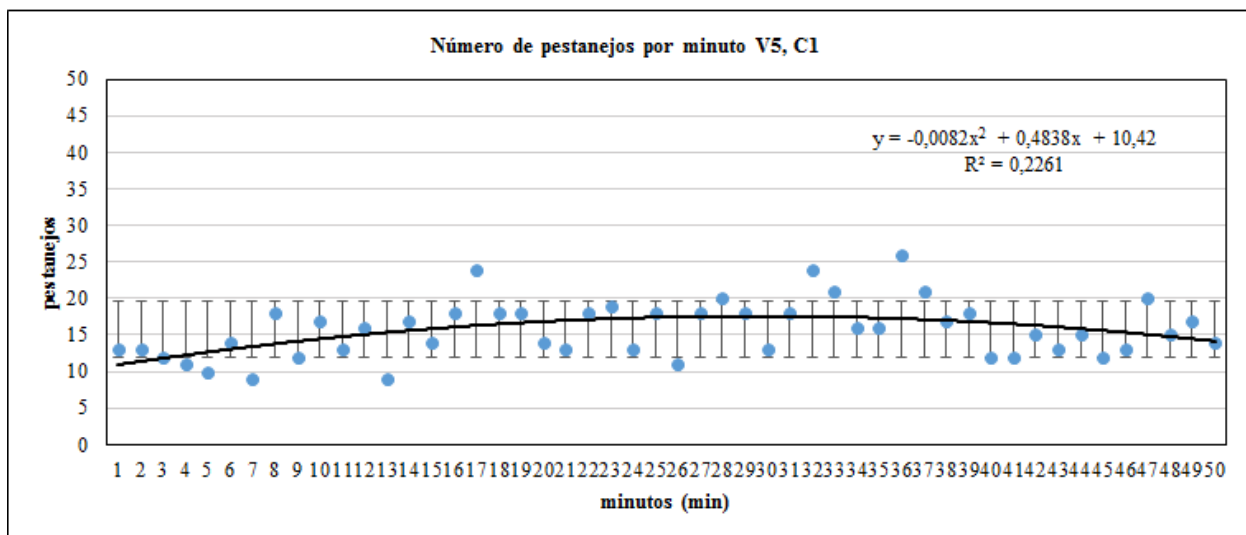


Gráfico 17: N° de pestanejos/min, voluntário 5, Condição 1, DP e modelo de regressão.

O Gráfico 18 demonstra flutuações dos dados para a Condição 2, caso em que o voluntário 5 apresentou uma frequência do pestanejar de $17,34 \pm 4,84$. Em termos globais o número de pestanejos é superior no final do ensaio do que os pestanejos verificados no início, sendo que a parte intermédia contém o maior número de pestanejos. Verifica-se pela análise do gráfico um aumento médio do número de pestanejos na parte inicial e intermédia do ensaio, diminuindo no final, representado pelo ajuste do modelo de regressão polinomial. Como o voluntário ingeriu álcool no dia do ensaio e apresentava cansaço antes de realizar o ensaio, o aumento do pestanejar na parte intermédia do ensaio pode ocorrer como resposta à tentativa de combater o estado de

cansaço (Segundo Schleicher et al., 2008, Borghini et al., 2012; Stern et al., 1994; Wascher et al., 2014).

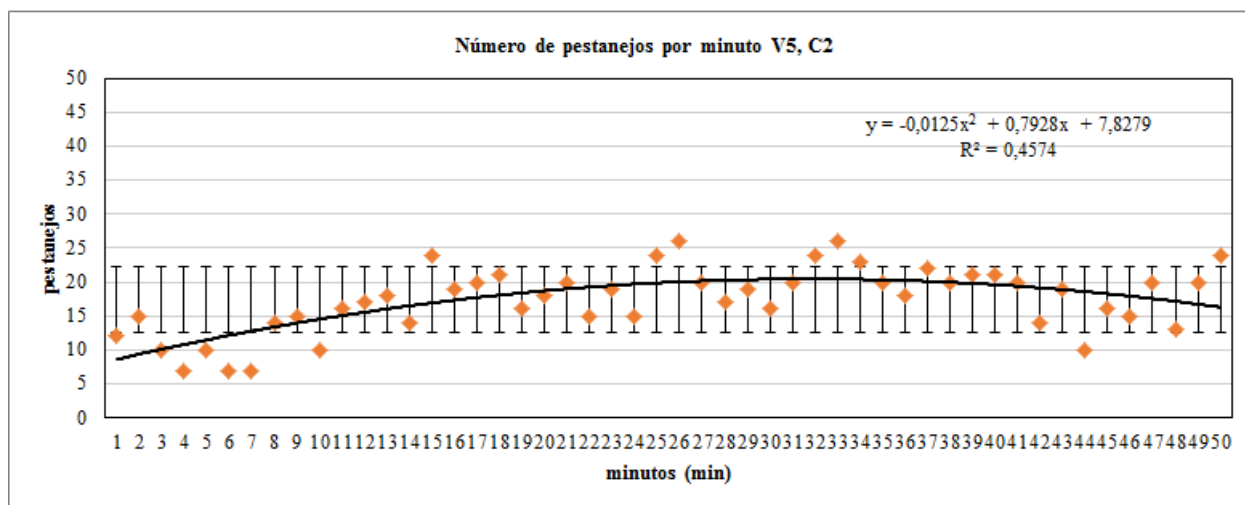


Gráfico 18: N° de pestanejos/min, voluntário 5, Condição 2, DP e modelo de regressão.

O voluntário nos dois ensaios obteve frequências de pestanejar próximas podendo indicar a influência das características individuais nos resultados obtidos (Stern et al., 1994; Caffier et al., 2003; Wolkoff et al., 2005; Schleicher et al., 2008; Benedetto et al., 2011).

● Voluntário 6 – V6

O voluntário 6 na Condição 1 apresentou frequência do pestanejar de $23,54 \pm 9,96$. Verifica-se pela análise do Gráfico 19 a existência de uma forte deriva monotonamente crescente embora a variabilidade em torno do modelo de deriva seja apreciável. Apesar do DP ser muito elevado, esta grande variabilidade é bastante influenciada pela tendência crescente dos dados. Entre os minutos 5 e 35 verifica-se a existência de deriva da média e crescimento monótono global

O voluntário não tinha bebido café, tinha dormido bem, apresentando no final calafrios, ansiedade e cansaço. O aumento médio do número de pestanejos pode verificar-se ao longo do ensaio (Stern et al., 1994; Fukuda et al., 2005).

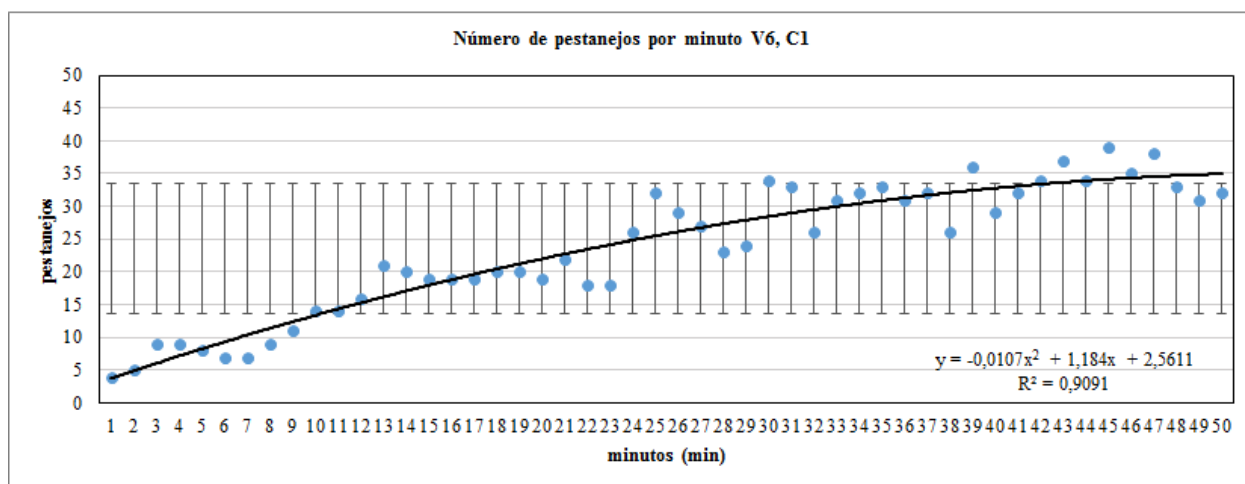


Gráfico 19: N° de pestanejos/min, no voluntário 6, Condição 1, DP e modelo de regressão.

O Gráfico 20 é referente à Condição 2, onde o voluntário 6 apresentou frequência do pestanejar de $23,46 \pm 7,47$. De um modo global, verifica-se uma deriva da média de crescimento não muito

significativo, variando entre os valores 20 a 27. Verifica-se uma grande variabilidade na parte intermédia do ensaio. Ao minuto 35 os valores baixam para o valor 5 aumentando de seguida até ao valor 30. Existem zonas de variabilidade bastante significativas como se verifica no minuto 36, existindo um tramo com crescimento acentuado a partir dessa altura. O voluntário tinha tomado café e dormido bem, apresentando no final sonolência, cansaço, e falta de concentração. Aos 20 minutos não demonstrava fadiga, situação que demonstrou na parte final do ensaio. As várias flutuações verificadas podem talvez ser explicadas pelo cansaço demonstrado pelo voluntário: apesar de no minuto 20 não experienciar cansaço, após esse minuto verificam-se grandes variações no número de pestanejos, demonstrando provavelmente o aparecimento do estado de fadiga logo após esse período.

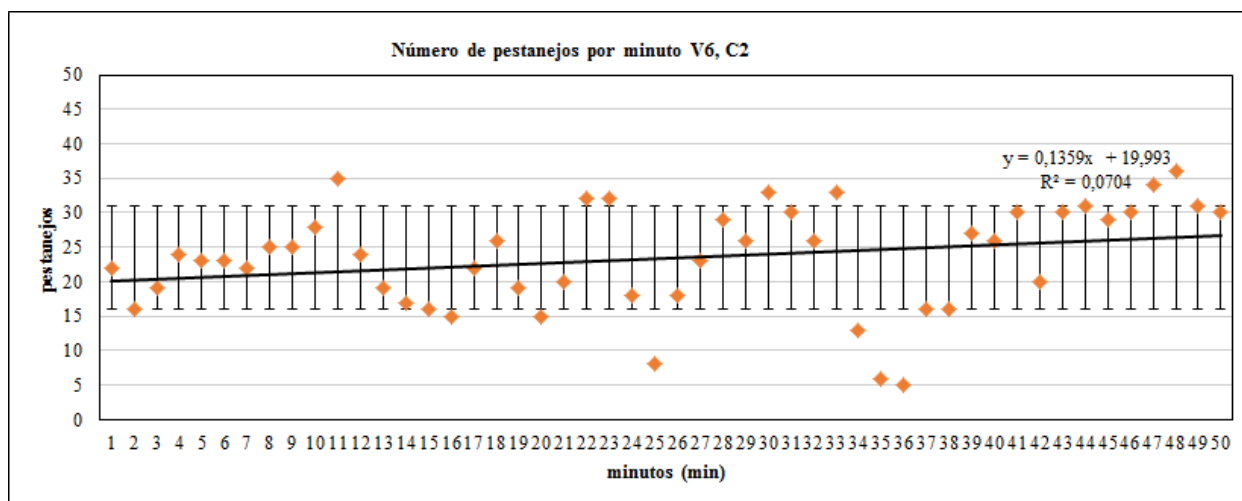


Gráfico 20: Nº de pestanejos/min, voluntário 6, Condição 2, DP e modelo de regressão.

Tal como Caffier et al. (2003) defendeu no seu estudo, o número de pestanejos é sujeito a modificações consoante o aumento da sonolência, muito frequentemente associado a fadiga, modificações essas que podem resultar da tentativa de contrariar o estado de fadiga e manutenção do seu estado de alerta durante a execução de uma tarefa (McIntire et al., 2014).

Nas duas Condições 1 e 2, a frequência de pestanejar foi muito semelhante principalmente na parte final, apesar do padrão de variação dos dados ser muito díspar ao longo do ensaio.

● Voluntário 7 - V7

O voluntário 7 na Condição 1 apresenta uma frequência do pestanejar de $19,76 \pm 7,52$. É possível verificar pela análise do Gráfico 21 que o modelo utilizado é linear ajustado estacionário. Verifica-se a existência de uma grande variabilidade nos dados (elevado DP), variando entre 5 e 30. O início do pestanejar é neste caso elevado, no entanto o período intermédio do ensaio demonstrou conter o maior número de pestanejos. O voluntário tinha tomado café e apresentava sonolência no início e final do ensaio. Uma das hipóteses para esta grande variabilidade de valores tem a ver com o facto de o voluntário apresentar sonolência já no início do ensaio, pelo que é possível a ocorrência de flutuações de valores do número de pestanejos como tentativa de contrariar o estado de sonolência (Wascher et al., 2014; Caffier et al., 2003; Borghini et al., 2012; Schleicher et al., 2008).

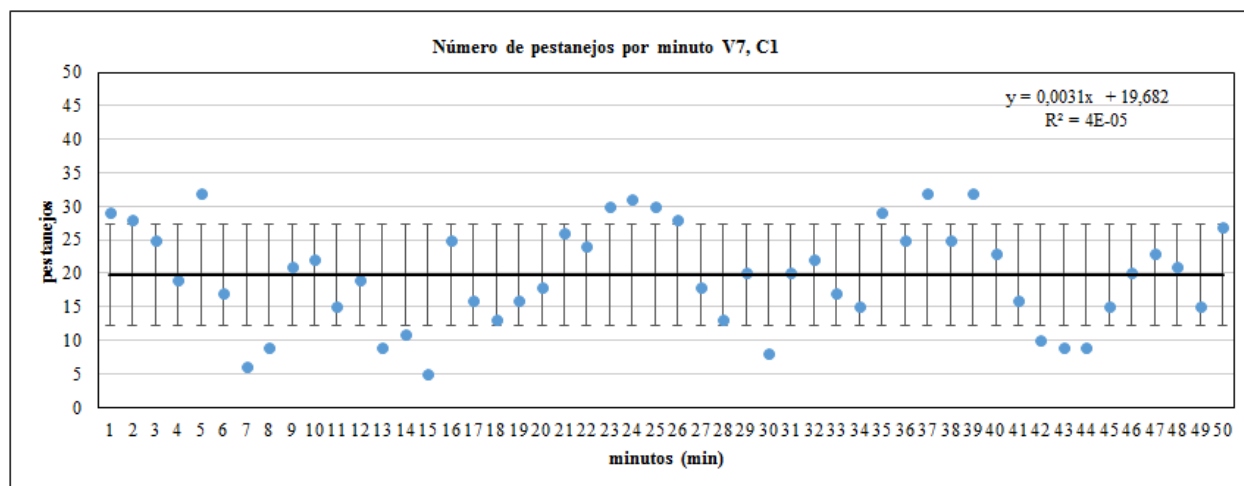


Gráfico 21: N° de pestanejos/min, voluntário 7, Condição 1, DP e modelo de regressão.

O Gráfico 22 é referente à variação do número de pestanejos do voluntário 7 na Condição 2, que apresentou uma frequência do pestanejar de $19,64 \pm 6,72$. Os dados foram ajustados por um modelo linear, verificando-se uma tendência linear positiva. Verifica-se pela análise do gráfico um aumento gradual, em média, do número de pestanejos, existindo uma grande dispersão de valores em torno do modelo de deriva (variando entre os valores 5 e 30). O voluntário tinha bebido café e dormido bem, apresentando-se igualmente transpirado e cansado no decorrer do ensaio.

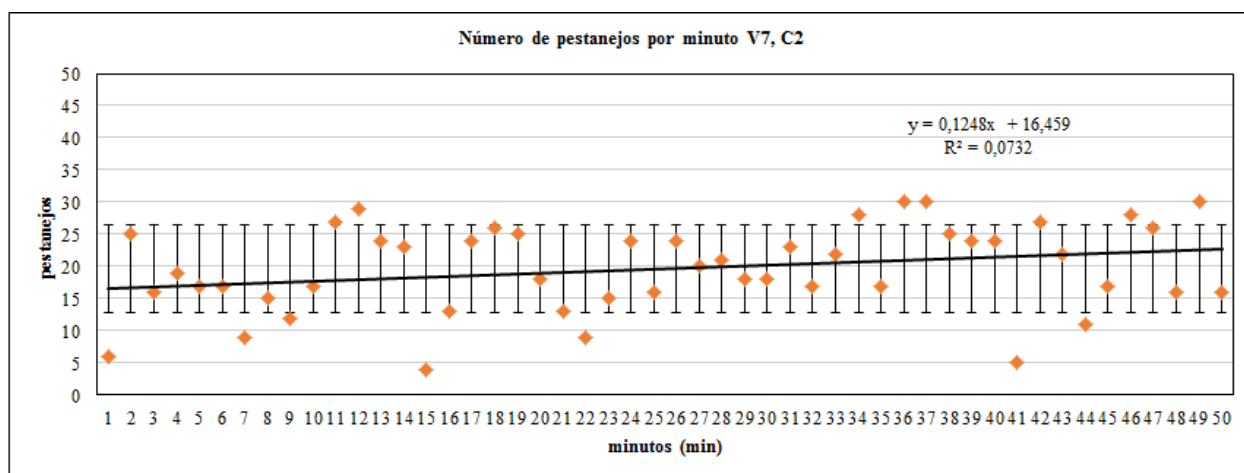


Gráfico 22: N° de pestanejos/min, voluntário 7, Condição 2, DP e modelo de regressão.

Mais uma vez se verifica que a frequência do pestanejar é muito semelhante nas duas Condições, apesar da variabilidade dos valores ser superior na Condição 1. Pode existir deste modo influência das características individuais, tal como referido anteriormente (Stern et al., 1994; Caffier et al., 2003; Wolkoff et al., 2005; Schleicher et al., 2008; Benedetto et al., 2011), bem como o facto de nas duas Condições 1 e 2 o voluntário apresentar sonolência no início do ensaio, pelo que a variabilidade verificada pode ser também justificada como forma de contrariar o aparecimento de tal estado (Wascher et al., 2014; Caffier et al., 2003; Borghini et al., 2012; Schleicher et al., 2008).

● Voluntário 8 – V8

O voluntário 8 na Condição 1 obteve uma frequência do pestanejar de $14,98 \pm 3,18$. Para o Gráfico 23, apresenta-se representado um modelo de regressão linear, com deriva crescente pouco significativa. Através de uma análise cuidada do Gráfico 23, verifica-se uma variação no valor 14, desde o início até ao minuto 22. Entre essa altura e o minuto 34 verifica-se um aumento da dispersão em torno da média. O número de pestanejos obtidos na totalidade do ensaio foi consideravelmente inferior ao obtido nos anteriores ensaios. O aumento médio verificado perto do minuto 22 pode ser devido a uma tentativa por parte do voluntário em contrariar a monotonia da tarefa (McIntire et al., 2014). O voluntário tomou café, ingeriu álcool e não tinha dormido bem, apresentando no final sonolência.

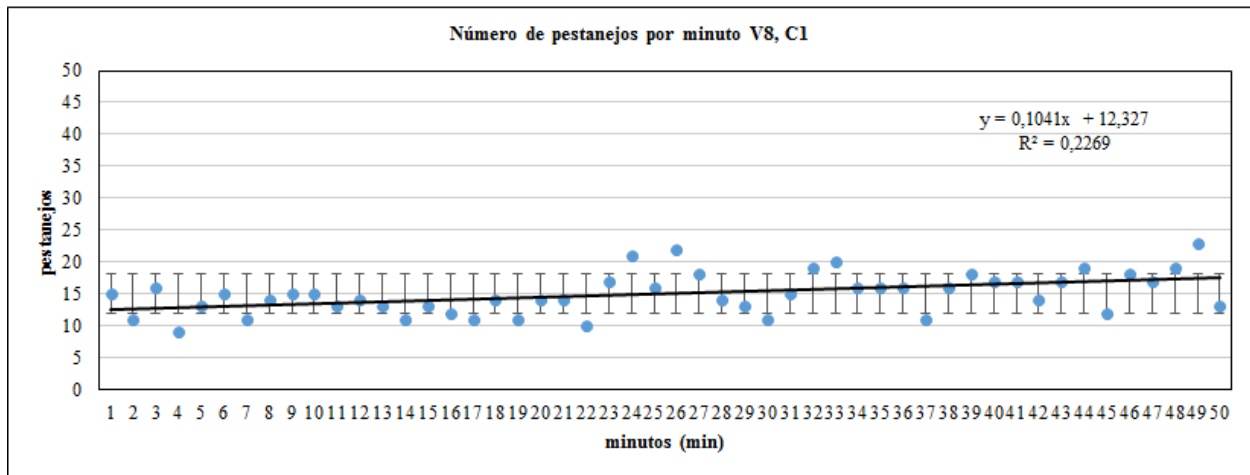


Gráfico 23: N° de pestanejos/min, voluntário 8, Condição 1, DP e modelo de regressão.

O Gráfico 24 representa graficamente o número de pestanejos do voluntário 8 na Condição 2, que obteve uma frequência do pestanejar de $9,64 \pm 3,32$, a menor frequência obtida em todos os ensaios. Neste gráfico apresenta-se representado um modelo de regressão linear com deriva crescente pouco significativa. Identifica-se a existência de um aumento gradual, em média, do número de pestanejos, seguindo um modelo linear. Aos 20 minutos o voluntário experienciou cansaço e estava transpirado. Verificou-se uma maior variabilidade a partir do minuto 33. O voluntário tinha dormido bem, não tinha bebido café e no final apresentou sonolência.

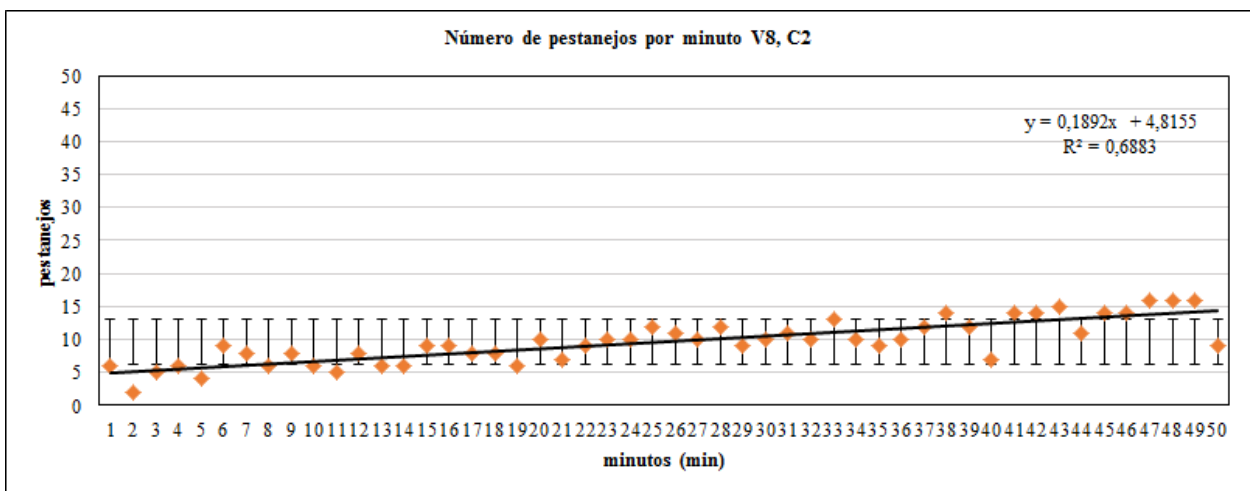


Gráfico 24: N° de pestanejos, voluntário 8, Condição 2, DP e modelo de regressão.

A existência de características individuais pode justificar o facto de o padrão de pestanejar ser tão semelhante nas duas Condições 1 e 2 (Stern et al., 1994; Caffier et al., 2003; Wolkoff et al., 2005; Schleicher et al., 2008; Benedetto et al., 2011).

● Voluntário 9 –V9

O voluntário 9, na Condição 1, obteve uma frequência do pestanejar de $27,92 \pm 7,28$. No Gráfico 25 observam-se os respetivos dados ajustados por um modelo polinomial de 2º grau. Os dados apresentam um crescimento em média até cerca de metade do ensaio, estabilizando em torno do valor 34, com exceção da forte flutuação verificada no minuto 39. São ainda visíveis algumas flutuações nos valores, existindo um DP elevado. Ao último minuto do ensaio corresponde um valor anómalo muito baixo, podendo não ser representativo. Excluindo esse valor, verifica-se uma maior estabilização na parte final do modelo de deriva. O voluntário não tinha tomado café nem dormido bem, apresentando no final cansaço, sonolência e apatia.

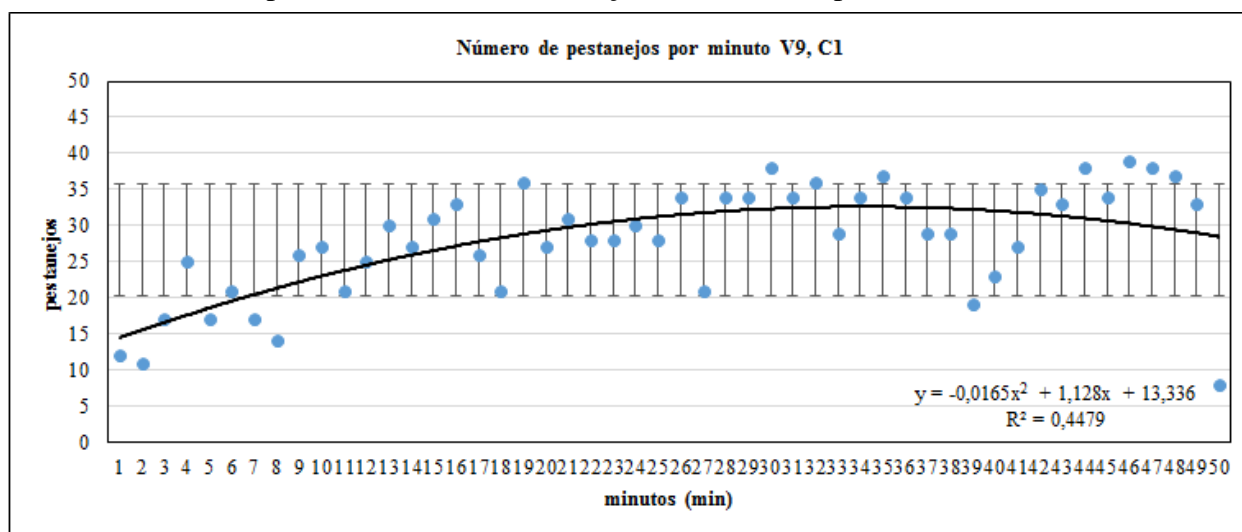


Gráfico 25: Nº de pestanejos/min, voluntário 9, Condição 1, DP e modelo de regressão.

O voluntário 9 na Condição 2 obteve uma frequência do pestanejar de $15,3 \pm 5,78$. No Gráfico 26 foi ajustado um modelo de regressão linear, com deriva decrescente significativa. Analisando o gráfico, os primeiros minutos de ensaio podem refletir o período de adaptação à tarefa. O voluntário expressou tédio, cansaço e desconcentração. No geral, é visível alguma variabilidade na distribuição dos valores. Perto do final do ensaio, o voluntário apresentava-se irritado, cansado e prestes a adormecer pelo que o estado mental e emocional parece ter afetado o desempenho do voluntário. O voluntário não tinha bebido café nem tinha dormido bem, apresentando cansaço no final do ensaio.

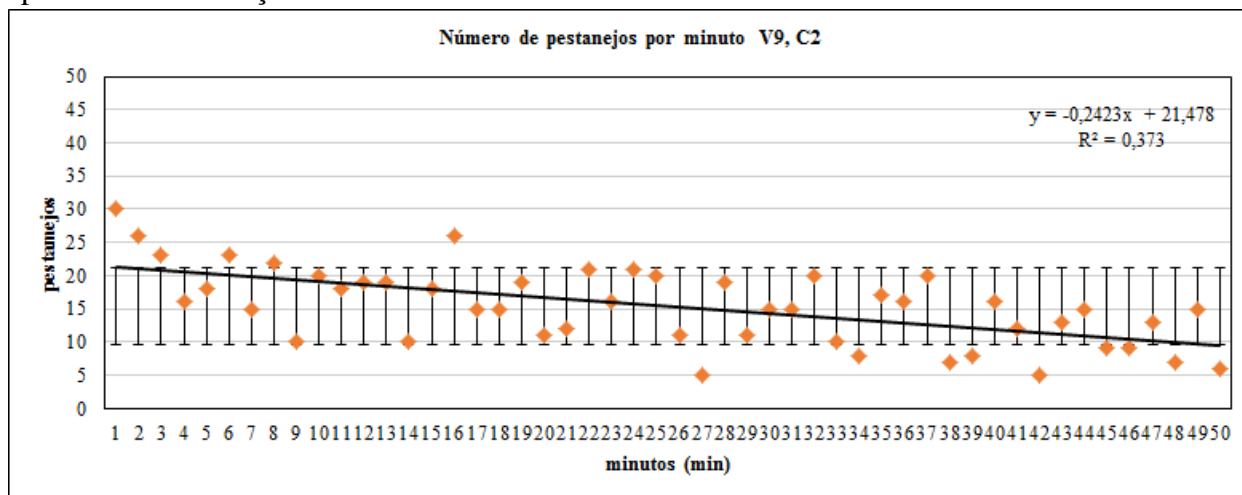


Gráfico 26: Nº de pestanejos/min, voluntário 9, Condição 2, DP e modelo de regressão.

Voluntário 10 – V10

O voluntário 10 na Condição 1 obteve uma frequência do pestanejar de $28,42 \pm 5,27$. No respectivo Gráfico 27, ajustou-se um modelo de regressão polinomial de 2º grau, inicialmente crescente e decrescente na parte final. Verifica-se a existência de variabilidade acentuada nos primeiros minutos, especialmente acentuada em torno do minuto 5, crescendo até minuto 7, estabilizando de seguida até ao minuto 26. Dessa altura até ao minuto 38 há variação em torno do valor 35, diminuindo a partir de cerca do minuto 38. O período intermédio do ensaio continha valores elevados de pestanejar. O voluntário tomou café, bebeu álcool e dormiu bem, e não apresentou sintomatologia no final do ensaio.

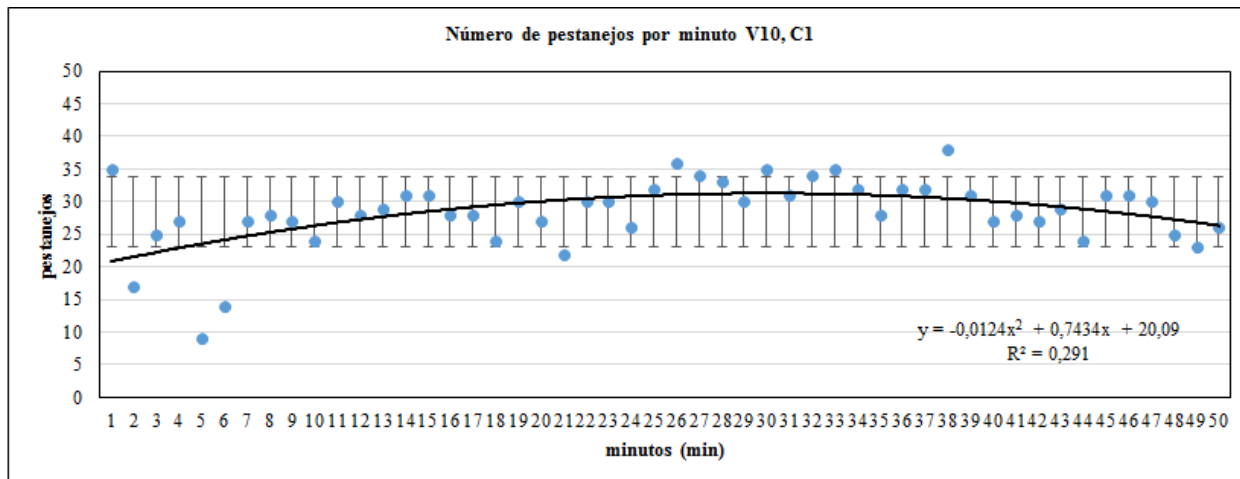


Gráfico 27: N° de pestanejos/min, voluntário 10, Condição 1, DP e modelo de regressão.

No Gráfico 28 apresentam-se os valores relativos ao voluntário 10 na Condição 2, tendo-se obtido uma frequência do pestanejar de $21,7 \pm 3,55$. Neste gráfico ajustou-se um modelo de regressão linear com deriva crescente pouco significativa, verificando-se pouca dispersão (pequeno DP). O voluntário tinha bebido café, dormido bem e apresentou cansaço no final.

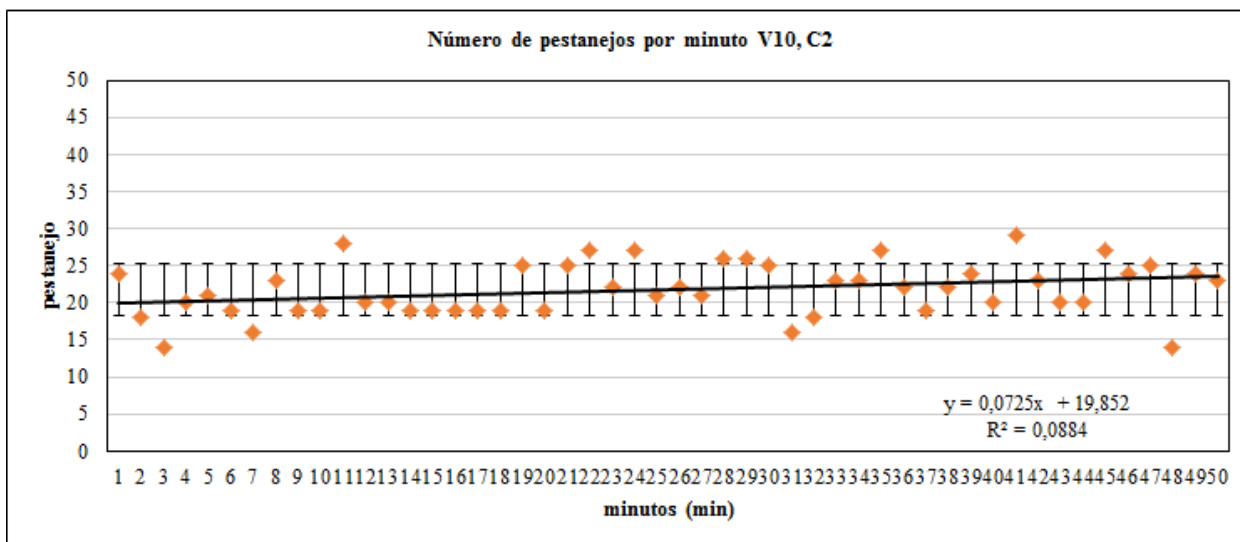


Gráfico 28: N° de pestanejos/min, voluntário 10, Condição 2, DP e modelo de regressão.

As frequências de pestanejar são semelhantes nas duas Condições 1 e 2, havendo maior variação na Condição 1.

Na totalidade dos ensaios nas Condições 1 e 2, verificou-se que, de um modo geral, os dados na Condição 1 são ajustados por um modelo de regressão polinomial de 2º grau e na Condição 2 por um modelo de regressão linear. Para melhor compreensão dos resultados obtidos relativamente ao número de pestanejos, elaborou-se a Tabela 6.

Tabela 6: Estatísticas sumárias relativas ao número de pestanejos verificado em cada ensaio

Voluntários	Condições	Média	Mediana	Moda	Desvio-padrão	Intervalo	Mínimo	Máximo	Nº de pestanejos
v1	C1	26.92	27	33	6.97	29	9	38	1346
	C2	34.82	35	33	3.33	16	26	42	1741
v2	C1	35.28	37	37	8.46	42	4	46	1764
	C2	35.40	36	36	4.49	21	22	43.00	1770.00
v3	C1	28.34	29	30	4.94	25	13	38	1417
	C2	31.68	35	36	7.36	28	12	40	1584
v4	C1	18.02	17	20	4.90	21	9	30	901
	C2	14.72	15	15	4.26	22	4	26	736
v5	C1	15.72	15.5	18	3.82	17	9	26	786
	C2	17.34	18	20	4.84	19	7	26	867
v6	C1	23.54	25	32	9.96	35	4	39	1177
	C2	23.46	24	30	7.47	31	5	36	1173
v7	C1	19.76	20	25	7.52	27	5	32	988
	C2	19.64	19.5	17	6.72	26	4	30	982
v8	C1	14.98	15	11	3.18	14	9	23	749
	C2	9.64	9.5	10	3.32	14	2	16	482
v9	C1	27.92	29	34	7.76	31	8	39	1396
	C2	15.30	15	15	5.78	25	5	30	765
v10	C1	28.42	29	27	5.27	29	9	38	1421
	C2	21.70	21.5	19	3.55	15	14	29	1085

Relativamente à média do número de pestanejos/minuto, a análise do Gráfico 29 permite verificar a existência de uma grande variabilidade de frequência do pestanejar. Verifica-se que em 3 voluntários há diferenças significativas entre a Condição 1 e 2, sendo a frequência na Condição 2 maior que na Condição 1. Em 4 ensaios a frequência foi superior na Condição 1. Em 3 voluntários obteve-se uma frequência estatisticamente semelhante nas duas condições. A frequência do pestanejar é, deste modo, bastante variável entre voluntários, pelo que não há um padrão entre a Condição 1 e Condição 2 e os resultados obtidos não são significativos para nenhuma das situações.

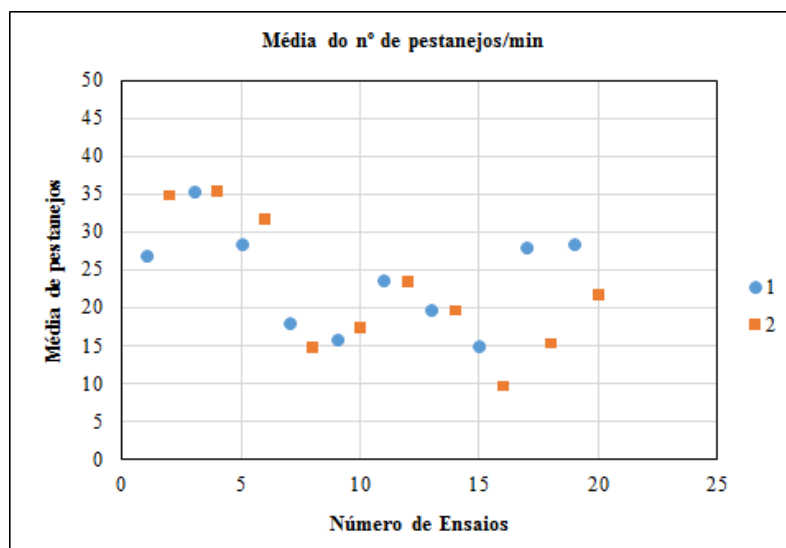


Gráfico 29: Média relativa ao n°pestanejos/minuto, na Condição 1 e Condição 2.

Ao se realizar a comparação entre frequência média global nas duas Condições (Gráfico 30), verifica-se que na Condição 1 o valor de frequência média é ligeiramente superior à verificada na Condição 2. Esta situação pode ser indicadora da influência da elevada temperatura humidade relativa presentes na Condição 2, que podem originar uma diminuição do pestanejar aquando a realização de tarefa cognitiva. Ou seja, pode indicar a existência de um maior esforço cognitivo na Condição 2.

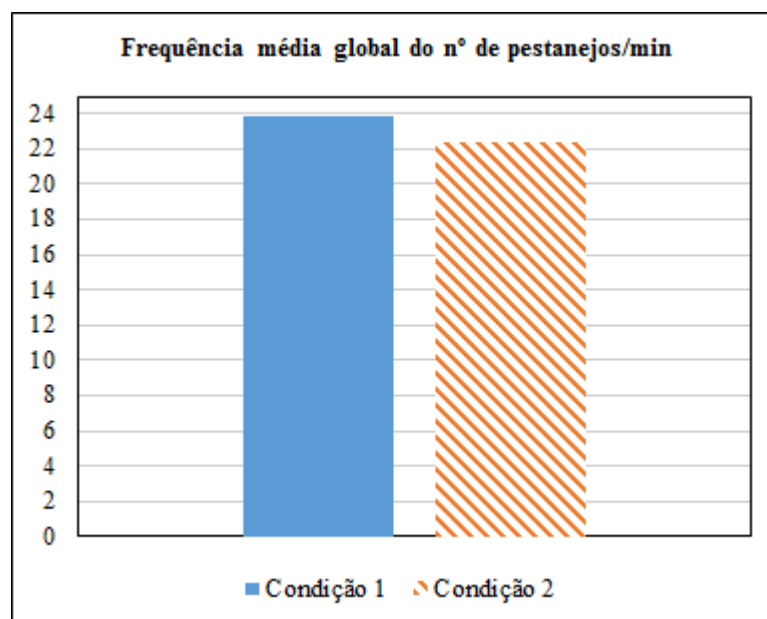


Gráfico 30: Frequência média global do n° de pestanejos para Condição 1 e Condição 2.

O Gráfico 31 representa a frequência média de pestanejar determinada para três períodos através da divisão do tempo total de ensaio de 50 minutos em 3 partes (início do ensaio, meio e fim do ensaio). A frequência na Condição 1 sofre um aumento significativo do primeiro para o segundo período do ensaio e um ligeiro aumento no fim do ensaio, ou seja, a frequência na Condição 1 aumenta ao longo do ensaio. Já em relação à Condição 2, verifica-se que no início dos ensaios a frequência do pestanejar é superior à Condição 1, no entanto no período intermédio e no final a frequência já é inferior à frequência verificada na Condição 1: esta frequência é superior na parte

intermédia, diminuindo tenuemente no período final do ensaio. Comparando a frequência do pestanejar média nas duas Condições, a frequência na Condição 1 aumenta gradualmente, enquanto que na Condição 2 aumenta inicialmente seguindo-se um ligeiro decréscimo da frequência de pestanejar na parte final do ensaio.

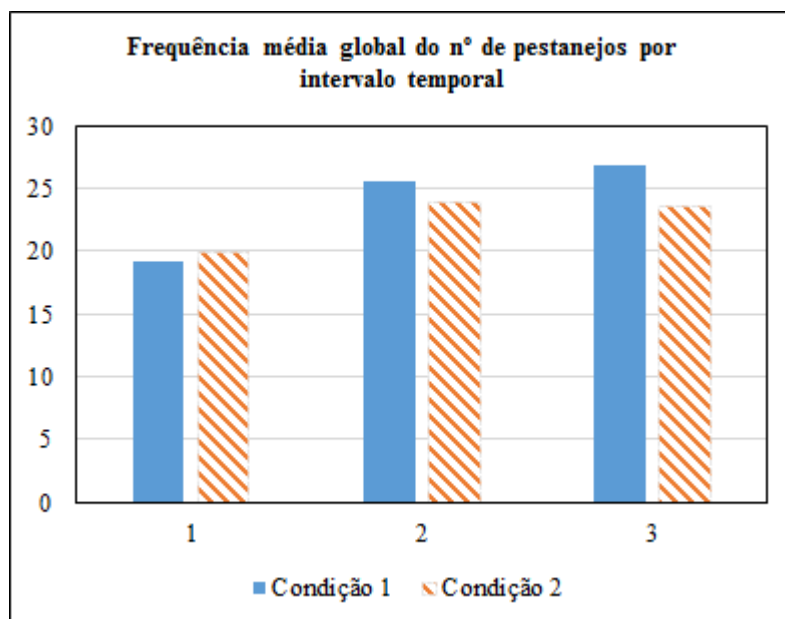


Gráfico 31: Frequência média global nº pestanejos para Condição 1 e Condição 2.

Verifica-se que na Condição 2 o tempo médio entre pestanejos, em segundos, é ligeiramente superior ao tempo médio entre pestanejos na Condição 1 (Gráfico 32), sendo indicativo da frequência de pestanejar ser ligeiramente superior na Condição 1. O intervalo de pestanejar no estado de fadiga aumenta em comparação com o estado de alerta (Iampetch et al., 2012).

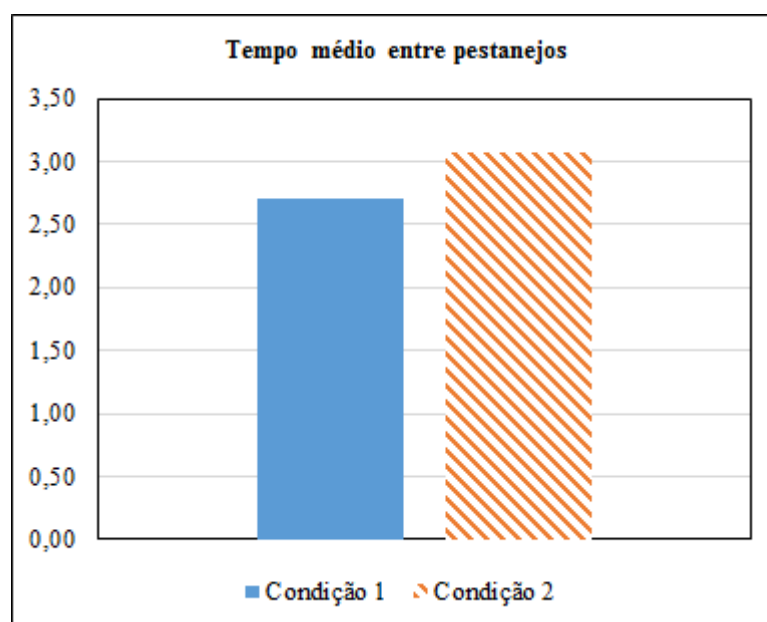


Gráfico 32: Tempo médio entre pestanejos na Condição 1 e Condição 2.

O Gráfico 33 mostra a variação do número de pestanejos para cada ensaio realizado. De notar as diferenças interindividuais verificadas: o voluntário 2 apresenta um número de pestanejos total

de 1762 e 1770, para Condição 1 e 2, respectivamente, denotando-se a proximidade de valores, quando se encontra exposto a diferentes situações, podendo tal semelhança ser explicada pelas características individuais do voluntário. Enquanto que o voluntário 7 obteve valores de pestanejos muito baixos, tendo inclusive o menor número de pestanejos na Condição 2 (482). É bem visível desta forma as discrepâncias entre resultados que podem existir de voluntário para voluntário. De referir que nos casos mencionados a diferença de idades entre os dois voluntários é de 12 anos, no entanto para outros ensaios essa relação entre número de pestanejos e idade não é verificada.

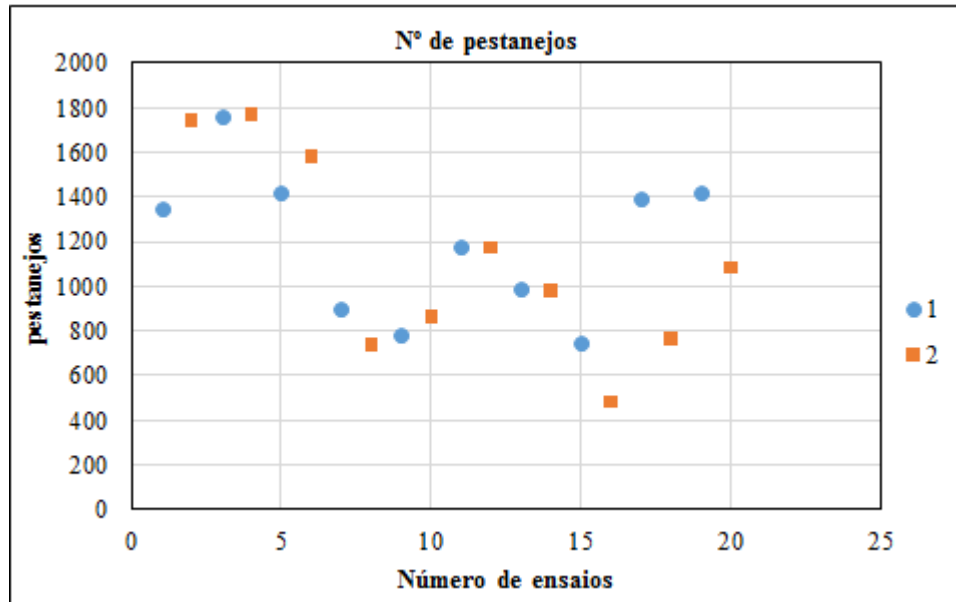


Gráfico 33: Número de pestanejos na Condição 1 e Condição 2.

O DP é bastante variável pela visualização do Gráfico 34. No entanto, em alguns registos, esta grande variabilidade é bastante influenciada pela tendência crescente ou decrescente dos dados.

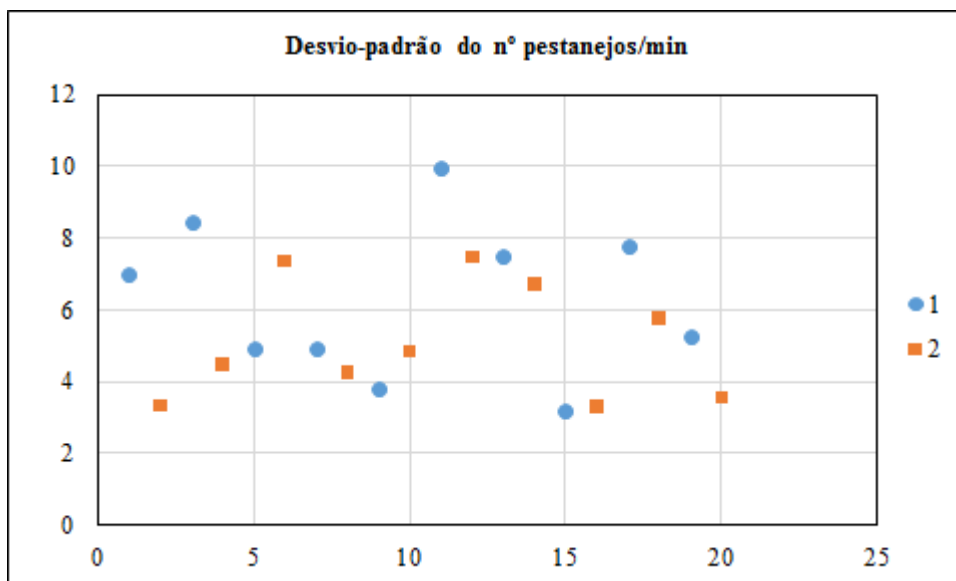


Gráfico 34: DP do nº de pestanejos.

Os gráficos são relativos ao número máximo de pestanejos (Gráfico 35) e número mínimo (Gráfico 36) verificados nas duas Condições, informação semelhante à obtida pelos gráficos individuais mas com disposição diferente da mesma informação.

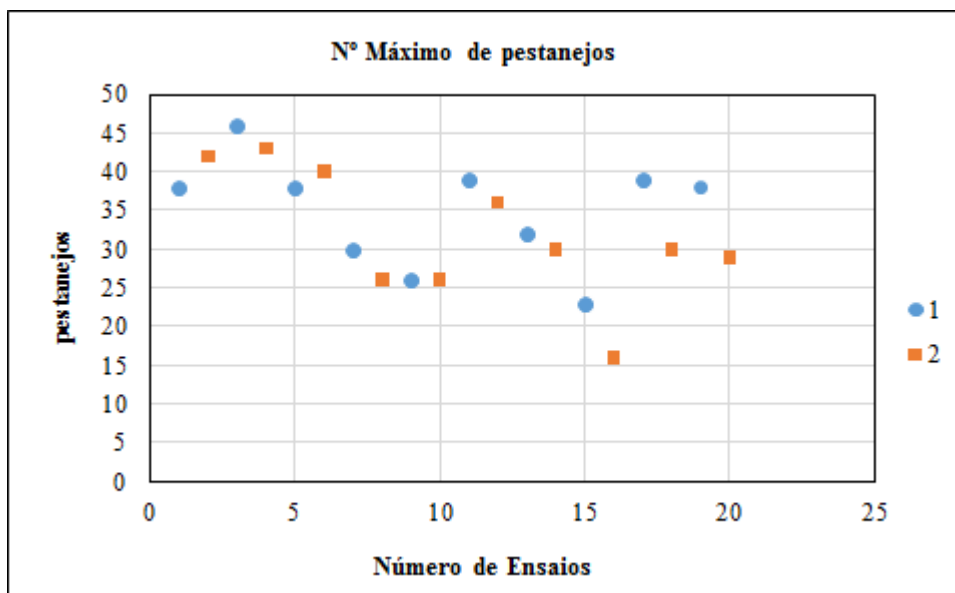


Gráfico 35: N° máximo de pestanejos para Condição 1 e Condição 2.

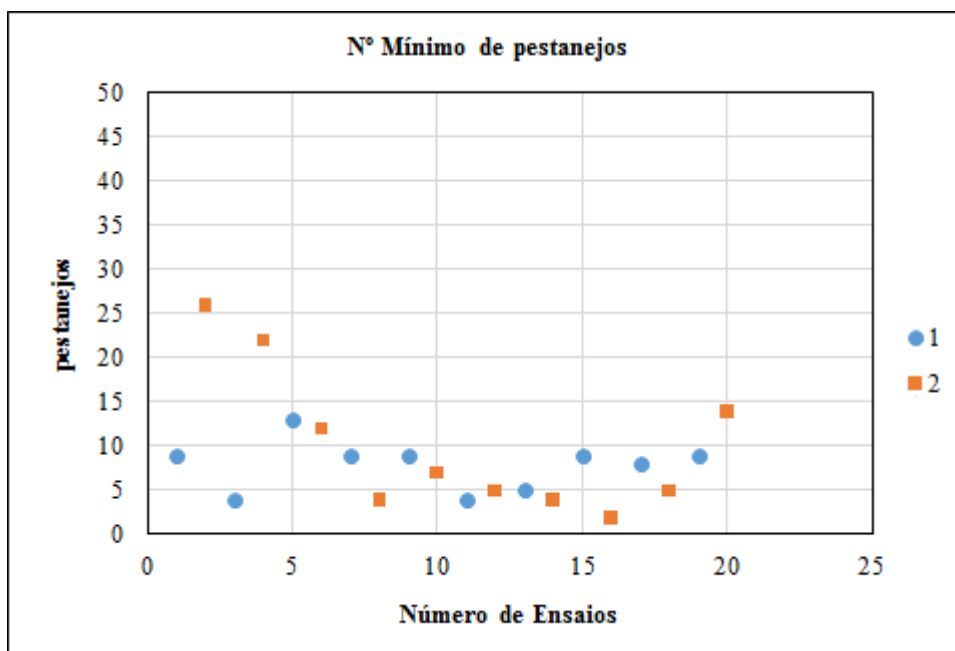


Gráfico 36: N° mínimo de pestanejos para Condição 1 e Condição 2.

É notório com a análise do Gráfico 37 que a variação do número de pestanejos é acompanhada por um modelo polinomial de 2º grau, com tendência crescente ao longo do ensaio, estabilizando na parte final.

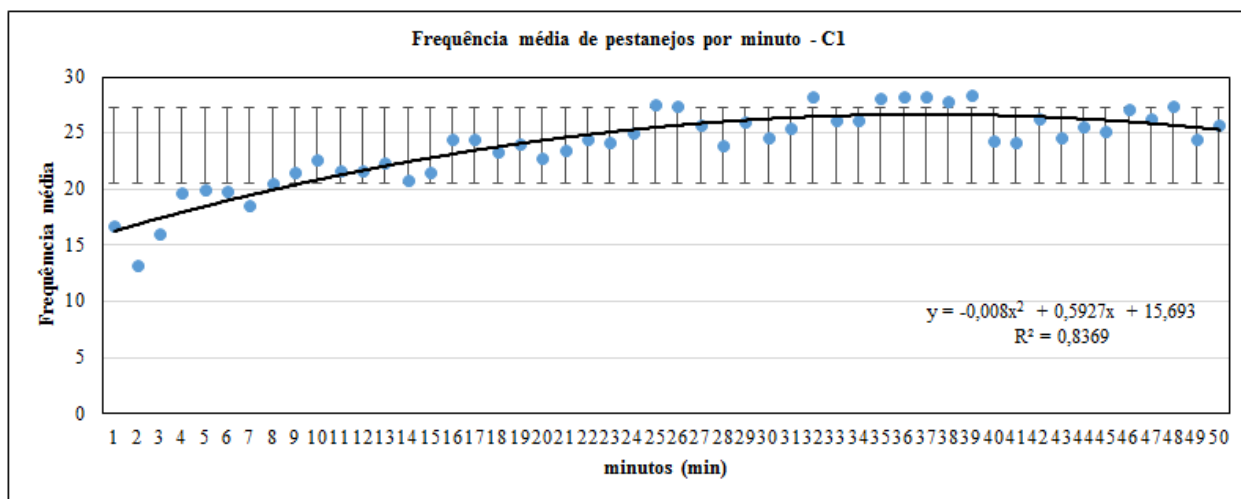


Gráfico 37: Frequência média de pestanejos na Condição 1.

O Gráfico 38 mostra a baixa oscilação do número de pestanejos ao longo do tempo de ensaio, sendo o período intermédio o que contém maior número de pestanejos. Os valores seguem a tendência do modelo de regressão polinomial, estabilizando na parte final do ensaio.

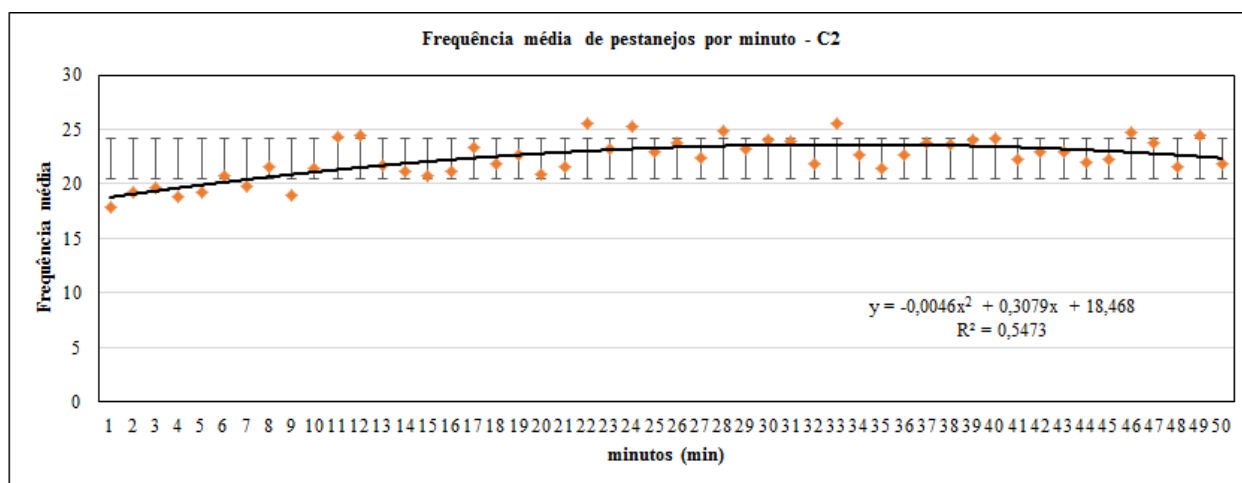


Gráfico 38: Frequência média de pestanejos na Condição 2.

A conjugação das duas Condições no Gráfico 39 permite verificar que no arranque do ensaio (primeiros 3 minutos), a frequência média de pestanejos na Condição 2 é superior ao da Condição 1. A frequência média de pestanejos nas Condições 1 e 2 tende a crescer até cerca de metade do ensaio, estabilizando na parte final. Na parte intermédia e final do ensaio a frequência na Condição 1 é ligeiramente superior à frequência da Condição 2. A influência da elevada temperatura e elevada humidade relativa nos voluntários é notória na parte inicial do ensaio, onde provavelmente os voluntários têm que se adaptar mais à mudança das condições ambientais e à tarefa cognitiva. O período de adaptação também é visível na Condição 1 nos minutos iniciais, continuando o pestanejar a aumentar de forma constante ao longo do tempo, quase que estabilizando no final do ensaio. De um modo geral, parece que o efeito da temperatura e humidade da Condição 2 no esforço cognitivo levam a um menor pestanejar do que o presente na Condição 2.

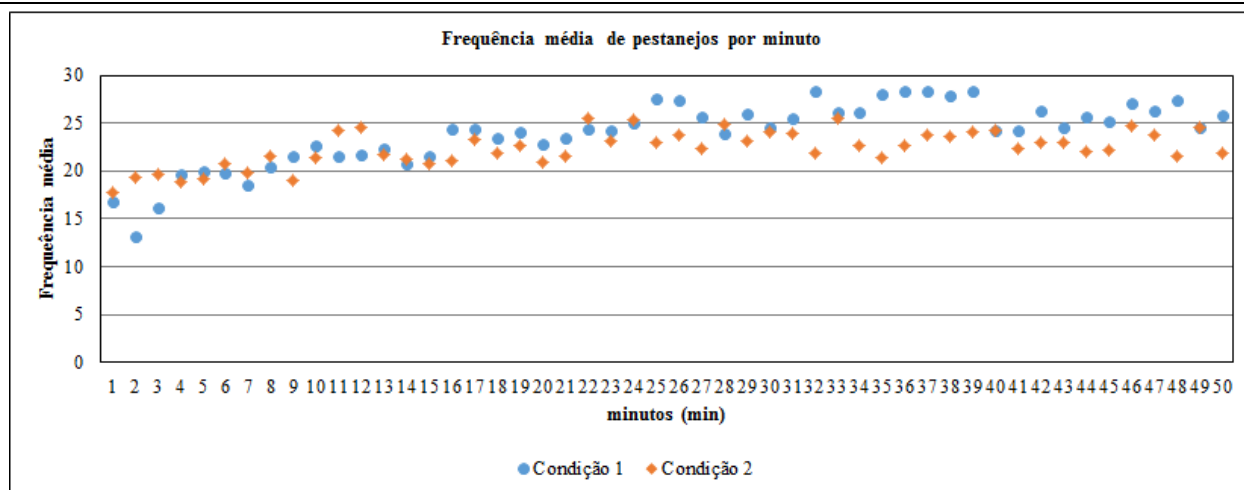


Gráfico 39: Frequência média de pestanejos para Condição 1 e Condição 2.

Para além de na análise dos dados se ter utilizado a mesma duração de ensaio (50 minutos), as duas Condições têm em comum o facto de se efetuar a mesma tarefa cognitiva. Segundo Cárdenas et al. (2013), a tarefa Go/No-go gera uma baixa carga de trabalho mental, sendo considerada uma tarefa sem grandes estímulos adicionais, mas que exige alguma atenção por parte do voluntário no sentido em que deve evitar enganar-se na sua resposta.

As duas Condições 1 e 2 variam apenas nas condições de temperatura e humidade relativa em que se realizam e nas características individuais dos voluntários e seu estado emocional aquando a entrada na Câmara Climática.

Tendo presente a premissa que ambientes quentes podem precisar de um maior fluxo de sangue no cérebro para manter o mesmo nível de *performance* na execução da tarefa (Tanabe et al., 2007), parece existir um maior esforço cognitivo na Condição 2 do que na Condição 1. Na Condição 2 há um aumento da frequência mas depois diminui ligeiramente no final do ensaio. Segundo alguns autores (Wilson et al., 1994; Caffier et al., 2003; Zheng et al., 2012; Wascher et al., 2014), quanto maior o esforço cognitivo ou estado de fadiga, menor será a frequência do pestanejar, e maior a sua duração. Como não foi possível estimar a duração do pestanejar, pode-se referir o intervalo de tempo entre pestanejos, ligeiramente superior na Condição 2.

Segundo os mesmos autores, seria então de esperar que nos ensaios realizados na Condição 1, com menor esforço, a frequência de pestanejar seria maior, facto que é observável e que parece ocorrer como função do tempo de execução da tarefa, corroborando os estudos de Stern et al. (1994), Fukuda et al. (2005); McIntire et al. (2014).

Verificou-se de igual modo que tal como referido na literatura, o pestanejar para além de indicar o estado de fadiga de um individuo, também pode ser devido a vários fatores.

De destacar o facto de os ensaios terem decorrido em ambiente laboratorial, considerado monótono e sem consequências ameaçadoras, podendo deste modo permitir que um estado de fadiga se instale mais rapidamente (Schleicher et al., 2008). A atenção sustentada numa tarefa monótona pode levar a flutuações de desempenho e a alterações na atividade ocular que são predominantemente o resultado do aumento fadiga. Para além disso, por se tratar de uma tarefa sem alteração dos estímulos envolvidos, as mudanças que possam ocorrer são previsíveis, pelo que é espectável que ocorra um aumento na frequência do pestanejar (Borghini et al., 2012; SafetyNet, 2009; Stern et al., 1994). Este aumento da frequência do pestanejar pode ocorrer como resposta na tentativa dos voluntários se manterem acordados e para manutenção do seu estado de alerta durante a execução de uma tarefa considerada por vezes entediante (McIntire et al., 2014). Quando a vigilância diminui, o declínio da *performance* cognitiva pode ser compensado pelo aumento do esforço cognitivo (Wascher et al., 2014).

Relativamente à existência de sonolência, um dos sintomas predominantemente citado pelos voluntários no final do ensaio, segundo Caffier et al. (2003), Schleicher et al. (2008), Borghini et al. (2012) e Wascher et al. (2014), quanto maior a fadiga ou o estado de sonolência, menor a frequência do pestanejar.

Também é de referir a existência de consideráveis diferenças interindividuais na frequência do pestanejar em vários ensaios, mencionada nos estudos de Stern et al. (1994), Caffier et al. (2003), Schleicher et al. (2008), Benedetto et al. (2011). Para estes autores a frequência do pestanejar é uma variável complexa e que depende da variabilidade existente nos voluntários e entre voluntários, incluindo estados emocionais, verificando-se de igual modo que o estado de fadiga se pode manifestar mais rapidamente em alguns indivíduos do que em outros.

No presente estudo não foi possível tratar os dados relativos às respostas dos voluntários da tarefa realizada, por defeito do seu armazenamento na bateria de testes PEBL. Tal facto não permitiu verificar a existência de relação inversa entre a frequência do pestanejar e o erro, defendia por vários autores. A elevada frequência do pestanejar verificada em alguns ensaios poderia dever-se a um maior número de respostas erradas (escolha da letra R em detrimento da letra P), tal como Holland & Tarlow (1972) tinha verificado no seu estudo (a explicação provável seria de que havia libertação de memória, pelo que a carga mental sofria uma diminuição: menor carga mental, maior frequência do pestanejar. Também Morris & Miller (1996), Van Orden et al. (2000) e McIntire et al. (2014) nos seus estudos averiguaram a relação entre o erro e a ocorrência de pestanejar, tendo verificado que a frequência média do pestanejar varia em função dos erros cometidos pelos voluntários nas tarefas.

4.2 Resultados da comparação dos pestanejos obtidos por Web câmara e via EEG

Com os dois ficheiros referidos anteriormente (ficheiro da diferença de dados pré e pós ICA e ficheiro dos pestanejos obtidos pela captação visual por câmara Web), procedeu-se à representação gráfica unicamente dos canais previamente selecionados por aparentemente serem os mais afetados pelo efeito do pestanejar.

Encontram-se assim representados graficamente o sinal obtido da diferença e os tempos dos pestanejos que se encontram graficamente representados sob a forma de asteriscos (*).

Inicialmente, inspecionou-se visualmente o gráfico obtido para cada ensaio, para verificar a existência de coincidência entre a localização temporal dos picos de maiores amplitudes do sinal e dos asteriscos. Verificou-se que havia pares de localizações coincidentes e outros sem correspondência aparente.

De seguida, efetuou-se a inspeção manual. Foram selecionados, aleatoriamente, os picos com maior e média amplitude (assume-se que cada pico verificado no sinal possa corresponder à representação de um pestanejo) com recurso ao ‘cursor’, para anotação do valor do tempo correspondente ao eixo X, num total de 939 pontos para todos os ensaios. Os valores obtidos foram comparados aos valores do tempo de cada pestanejo, obtido pela visualização dos vídeos. Através desta comparação pretendeu-se verificar, de forma exploratória e não sistemática, a existência de correspondência entre os referidos valores, com o propósito de avaliar a validade da referida abordagem, via subtração de sinais EEG, para a obtenção da componente pestanejar e sua posterior inclusão no estudo de fadiga.

Dos 939 pontos escolhidos, 42,71% obtiveram correspondência exata com a contagem dos pestanejos obtidos pela visualização dos vídeos. Esta informação encontra-se presente na Tabela 7. Verificou-se também que em seis ensaios parece haver uma maior coincidência que nos restantes ensaios.

Tabela 7: Dados relativos à seleção aleatória dos pontos com maior amplitude

Ensaio	Número total pestanejos	Número de pontos escolhidos	Confirmações	Confirmações (%)
1	1346	48	17	35.42%
2	1741	52	29	55.77%
3	1764	47	26	55.32%
4	1396	48	26	54.17%
5	1421	49	23	46.94%
6	1584	50	19	38.00%
7	1770	45	29	64.44%
8	1085	48	23	47.92%
9	901	45	23	51.11%
10	736	46	13	28.26%
11	786	45	17	37.78%
12	1177	48	19	39.58%
13	867	47	19	40.43%
14	1173	45	19	42.22%
15	988	46	15	32.61%
16	982	46	16	34.78%
17	628	46	17	36.96%
18	765	46	17	36.96%
19	749	46	10	21.74%
20	1417	46	24	52.17%
Total	23276	939	401	42.71%

Para exemplificar, na generalidade, os passos realizados, utiliza-se como exemplo o Ensaio 2, anteriormente usado como exemplo no tratamento de dados.

Após a realização da diferença de sinais pré e pós ICA, comparou-se graficamente esse ficheiro e o ficheiro relativo ao pestanejar obtido por câmara Web, comparação efetuada apenas para o canal 14 (como anteriormente referido este foi identificado como tendo sido um dos canais que mais tinha sofrido alterações aquando da remoção da componente 3, com características de pestanejar, justificando deste modo a sua utilização para a comparação).

O Gráfico 40 é referente à janela inicial obtida em *Matlab*, onde se pode visualizar o panorama geral da variação do sinal e a localização temporal de pestanejos representados por asteriscos.

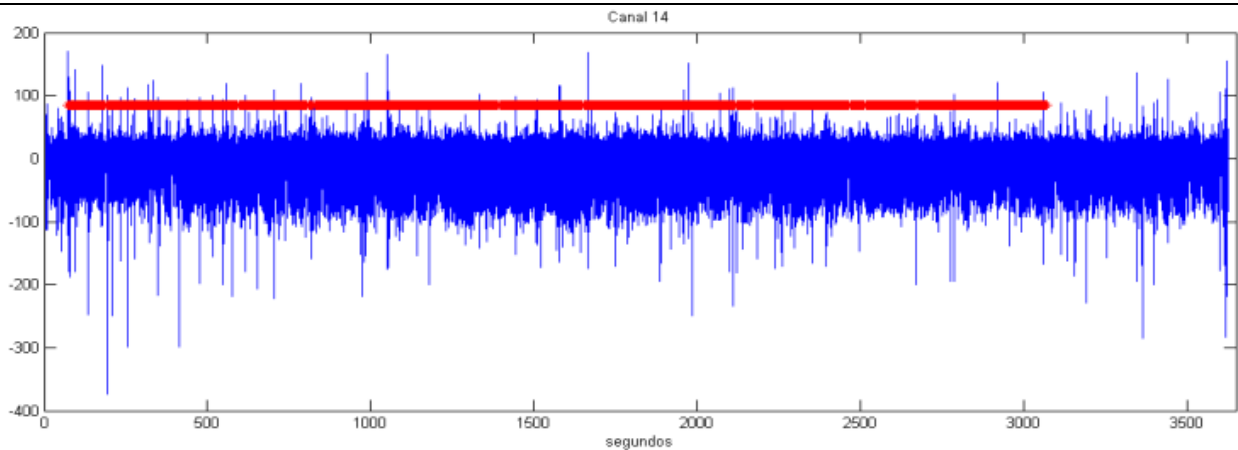


Gráfico 40: Visualização geral do canal 14 e pestanejos no Ensaio 2.

Para melhor visualização da janela MATLAB que contém a informação aplicou-se *zoom*, numa secção do Gráfico 40 e apenas no semieixo positivo das amplitudes. No Gráfico 41 é possível verificar a correspondência entre o sinal presente no canal em estudo e os asteriscos (pestanejos).

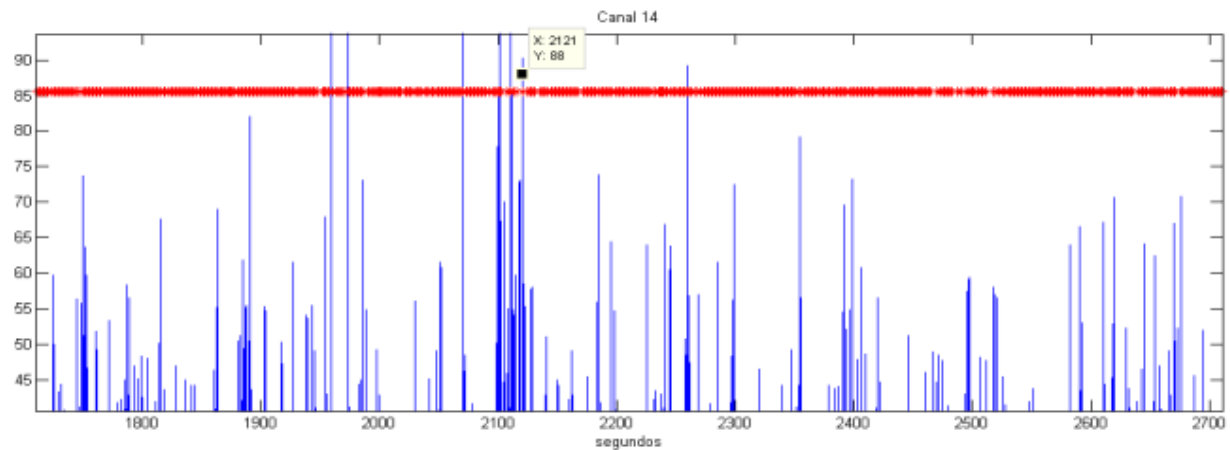


Gráfico 41: Exemplo de coincidência exata.

O Gráfico 42 representa um dos casos em que o sinal não tem coincidência exata com um asterisco (tempo de pestanejo).

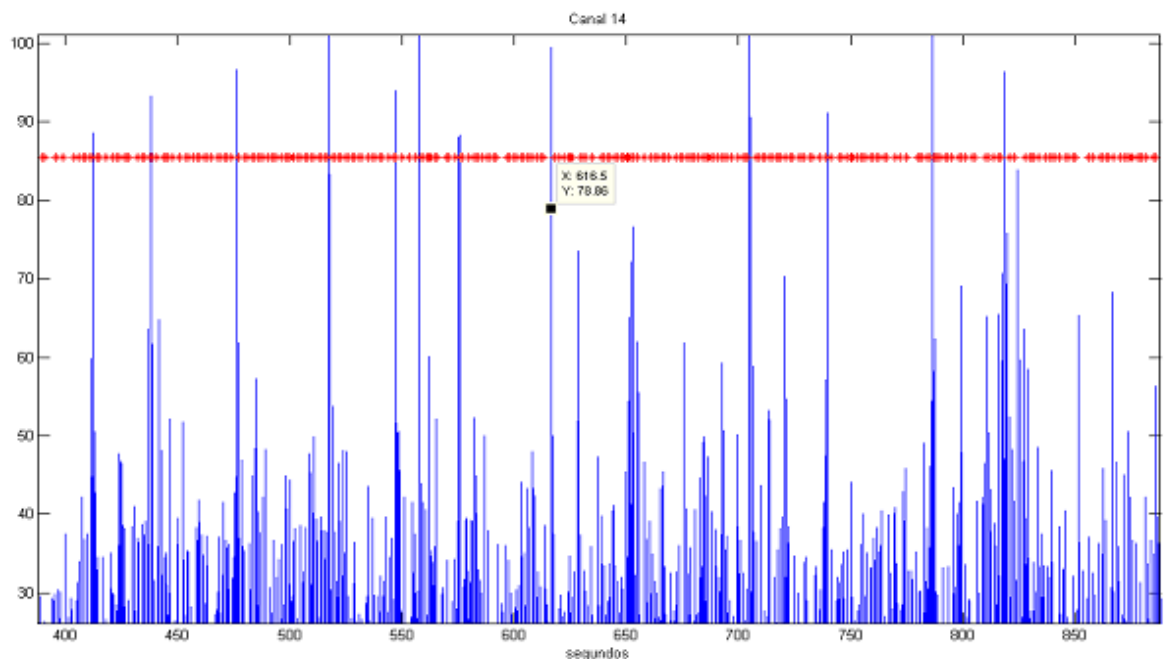


Gráfico 42: Exemplo de não coincidência exata.

Com esta abordagem exploratória proposta, parcial e muito conservativa, não se verificou uma correlação muito elevada entre a existência de pestanejar e os picos de maior amplitude nos sinais EEG, após a subtração realizada.

Para uma otimização da abordagem proposta, sugere-se avaliar, de forma automática, a existência de correlação para a totalidade dos ensaios, incluindo os valores negativos dos sinais; aplicação de uma margem de erro aceitável na busca de coincidências temporais; a eventual inclusão de picos de menores amplitudes, desde que coincidentes com os tempos medidos dos pestanejos. Desta forma, muito provavelmente, o nível de correlação seria significativamente mais elevado. Nesta perspetiva e como conclusão provisória, foi considerada potencialmente bastante promissora a abordagem proposta, tendo por base a utilização da componente usualmente rejeitada como ruído indesejável no processamento de sinais EEG, para a sua posterior utilização nomeadamente no estudo da fadiga.

Uma limitação na utilização dos sinais de EEG para a deteção combinada da atividade cerebral e do pestanejar está relacionada com o facto de apenas os potenciais elétricos considerados mais fortes serem os gravados para além de que o potencial elétrico gerado pela atividade cerebral e o potencial elétrico resultante da atividade muscular das pálpebras tendem a ocluir-se mutuamente.

4.3 Monitorização da temperatura

Apesar de os gráficos relativos à temperatura da pele e temperatura interna se encontrarem em anexo uma vez que os resultados obtidos não parecem ter relação apreciável com o parâmetro pestanejar, é de referir que na Condição 1, à medida que o ensaio decorre no interior da Câmara Climática, existe uma tendência para a temperatura da pele estabilizar, devido a mecanismos de homeostasia desencadeados pelo organismo. Para a maioria dos registos a evolução da temperatura da pele dos voluntários segue o mesmo padrão, quando se compara a evolução entre a temperatura registada ao nível da testa e a temperatura registada ao nível do pescoço. Na Condição 2, verifica-se em todos os gráficos que quando o voluntário entra na Câmara Climática a sua temperatura da pele aumenta bruscamente. Posteriormente, a temperatura da pele dos voluntários tende a estabilizar sendo sempre superior à temperatura do interior da câmara climática (35°C). A temperatura da pele ao nível da testa e da temperatura ao nível do pescoço seguem o mesmo padrão para cada ensaio. Devido a problemas com o sensor ao nível do pescoço, não foi possível para o voluntário 5 a recolha dos dados de temperatura. Os gráficos relativos à monitorização da temperatura da pele e temperatura interna encontram-se no Anexo IV.

5 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 Conclusões

A ideia do tema para a presente dissertação surgiu tendo em conta os seguintes factos: a influência em meio laboral do estado de fadiga e do ambiente térmico no desempenho cognitivo de um indivíduo; o pestanejar dos olhos ser considerado e utilizado como um indicador do estado de fadiga e esforço mental e de, paralelamente, o seu efeito ser considerado um artefacto indesejável, usualmente filtrado nos registos EEG. Pretendeu-se utilizar a componente do pestanejar, nos sinais EEG e captada com recurso a câmara Web, para a sua caracterização ao longo de tarefas cognitivas em câmara climática, em diferentes condições ambientais e a posterior avaliação da possibilidade da sua utilização no estudo da fadiga. Mais especificamente, tentou-se analisar os dados do pestanejar obtidos pela visualização dos vídeos captados com câmara Web durante os ensaios laboratoriais; averiguar a existência de relação entre o pestanejar e as diferentes condições ambientais dos ensaios; caracterizar a evolução temporal da componente do pestanejar em cada uma das condições estipuladas; proceder à individualização da componente do pestanejar nos dados EEG através da subtração dos registos pré e pós-filtragem pelo método ICA; avaliar a possibilidade de deteção da expectável correlação temporal entre o pestanejar identificado por visionamento das gravações vídeo, em cada ensaio, e os respetivos sinais EEG.

Para uma melhor compreensão do estado da arte neste domínio, efetuou-se inicialmente uma revisão bibliográfica sobre o tema em questão utilizando a metodologia de revisão sistemática referenciada em PRISMA Statement, bem como a recolha de informação adicional relevante, que permitiu identificar os materiais necessários e preparar uma metodologia adequada aos objetivos pré-definidos. Seguiu-se a realização de 20 ensaios laboratoriais numa Câmara Climática, onde cada metade dos ensaios correspondia a uma condição ambiental diferente (Condição 1 relativa às elevadas temperatura e humidade relativa, e Condição 2, relativa a ambiente térmico com 18°C e 40% de humidade relativa), utilizando-se registo EEG e câmara Web para captação dos pestanejos. Aplicou-se ainda um Questionário de Sensação Térmica que permite averiguar o modo subjetivo como os voluntários percecionam o ambiente térmico no interior da Câmara Climática. Após a recolha dos dados, realizou-se o tratamento dos dados com recurso a *Matlab*, *Eeglab* e *Excel*, a análise e discussão dos resultados obtidos.

O objetivo principal, inicialmente proposto foi cumprido, pois realizaram-se com sucesso todas as etapas para a sua concretização. Apresentam-se, de seguida, as principais conclusões da dissertação, tendo também em consideração os objetivos específicos definidos inicialmente.

O isolamento da componente do pestanejar nos registos EEG, por subtração dos registos pré e pós-filtragem da componente do pestanejar pelo método ICA, foi possível graças ao tratamento dos dados com recurso especialmente ao *Eeglab* e *Matlab*. Tendo por base a utilização da componente usualmente rejeitada como ruído indesejável no processamento de sinais EEG, a abordagem proposta foi considerada bastante promissora para a sua posterior utilização em estudos, como o estudo da fadiga. Aplicando-se procedimentos de otimização, o nível de correlação nesta abordagem seria, muito provavelmente, significativamente mais elevado.

Da análise dos dados do pestanejar obtidos pela visualização dos vídeos captados com câmara Web durante os ensaios laboratoriais confirmou-se que o pestanejar é uma atividade individualizada. Pela análise de cada um dos gráficos verificaram-se situações em que, por vezes, para o mesmo voluntário, o pestanejar mostrava um comportamento semelhante nas duas condições; enquanto que para outro voluntário o pestanejar apresentava diferentes padrões para

as duas Condições 1 e 2, podendo-se verificar deste modo a importância da intra e interindividualidade no comportamento do pestanejar.

Na averiguação da existência de relação entre o pestanejar e as diferentes condições ambientais dos ensaios, verificou-se nos gráficos de cada ensaio que a frequência do pestanejar nas mesmas condições diferiu entre voluntários. Verificou-se ainda que a frequência de pestanejar foi ligeiramente inferior na Condição 2, podendo ser indicativo de um maior esforço cognitivo nesta Condição do que na Condição 1 (maior esforço mental, menor frequência de pestanejar). A realização de ensaios em ambiente laboratorial, considerado monótono, permite a instalação mais célere de um estado de fadiga.

Na caracterização da evolução temporal da componente do pestanejar em cada uma das condições estipuladas, individualmente e globalmente verificou-se uma variação da componente pestanejar como função do tempo de execução da tarefa, na maioria dos casos. Não foram encontrados estudos que incluam a deteção de pestanejar e a sua relação com o estado de fadiga ou esforço mental, em simultâneo com condições ambientais consideradas extremas. A aplicação do questionário de sensação térmica permitiu avaliar a percepção subjetiva de cada voluntário em todos os momentos do ensaio e permitiu uma interpretação mais fundamentada dos resultados obtidos.

5.2 Perspetivas Futuras

Por se almejar aumentar o conhecimento sobre o modo de funcionamento da mente humana, são cada vez mais realizados estudos que incluem a utilização da técnica EEG, e a investigação do esforço mental e da resposta cognitiva perante diversas situações. O estudo do olho e dos seus componentes como o pestanejar tem de igual modo suscitado o interesse no seio da comunidade de investigação científica por serem componentes controlados principalmente por mecanismos do sistema nervoso.

Assim, todos os trabalhos que possam no futuro ser desenvolvidos sobre esta temática serão sempre vanguardistas por ser uma temática que por um lado é muito estudada mas onde existe ainda muito desconhecimento.

Enumeram-se, de seguida, sugestões de novas abordagens que poderão ser aplicadas em futuros desenvolvimentos do presente estudo exploratório:

- Para uma otimização da abordagem proposta e assim melhorar a averiguação da aplicabilidade da componente pestanejar usualmente rejeitada nos sinais EEG sugere-se, como anteriormente referido: a avaliação, de forma automática, da existência de correlação para a totalidade dos ensaios, incluindo os valores negativos dos sinais; a aplicação de uma margem de erro aceitável na busca de coincidências e a eventual inclusão de picos de menores amplitudes, desde que coincidentes com os tempos medidos dos pestanejos;
- Realização de análise e processamento dos sinais no domínio das frequências, expandindo e explorando deste modo todas componentes inerentes ao processamento de sinal, e a aquisição de novas perspetivas neste domínio;
- Utilização de condições ambientais extremas, com manutenção constante de uma das variáveis e com variação da outra variável (temperatura ou humidade relativa), o que permitiria ter uma maior noção da influência de cada variável ambiental na componente de pestanejar;
- Realização de duas tarefas de diferente carga mental, nas mesmas condições ambientais, permitindo aferir a influência que a carga de trabalho mental tem no estado cognitivo de um indivíduo e no seu padrão de pestanejar;

- Realização simultânea de duas tarefas diferentes, na presença de variação de temperatura ou humidade relativa permitindo estudar a resposta cognitiva do indivíduo, avaliando a sua performance na execução de cada tarefa;
- Realização de ensaios em diferentes alturas do dia, estabelecendo uma comparação com o ritmo circadiano e o maior ou menor estado de fadiga e esforço mental;
- Realização de ensaios recorrendo a pestanejar voluntário em ensaios piloto para otimizar as ferramentas de trabalho, aumentar a compreensão dos sinais e de todas as variáveis em estudo;
- Estudo da fase inicial dos ensaios durante a qual são comuns valores bastante díspares;
- Aplicação de critérios para exclusão de voluntários, tornando deste modo o comportamento do pestanejar mais independente de causas externas;
- A utilização de *eye tracker* para contabilização dos pestanejos seria sem dúvida uma mais-valia para o estudo, permitindo deste modo que a contagem não fosse uma tarefa tão árdua e morosa, permitindo de igual modo aumentar a eficácia da contagem;
- Por último, a representatividade dos resultados seria melhorada com o aumento da amostra.

6 BIBLIOGRAFIA

- Acosta, M. C., Gallar, J., & Belmonte, C. (1999). The influence of eye solutions on blinking and ocular comfort at rest and during work at video display terminals. *Experimental Eye Research*, 68(6), 663-669. doi: 10.1006/exer.1998.0656
- Benedetto, S., Pedrotti, M., Minin, L., Baccino, T., Re, A., & Montanari, R. (2011). Driver workload and eye blink duration. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(3), 199-208. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2010.12.001>
- Borghini, G., Vecchiato, G., Toppi, J., Astolfi, L., Maglione, A., Isabella, R., . . . Babiloni, F. (2012). Assessment of mental fatigue during car driving by using high resolution EEG activity and neurophysiologic indices. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2012, 6442-6445. doi: 10.1109/embc.2012.6347469
- Caffier, P., Erdmann, U., & Ullsperger, P. (2003). Experimental evaluation of eye-blink parameters as a drowsiness measure. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3-4), 319-325. doi: 10.1007/s00421-003-0807-5
- Cárdenas, D., Perales, J. C., Chiroso, L. J., Conde-González, J., Aguilar-Martínez, D., & Araya, S. (2013). The effect of mental workload on the intensity and emotional dynamics of perceived exertion. *Anales de Psicología*, 29, 662-673.
- Chen, S., & Epps, J. (2013). Blinking: Toward Wearable Computing that Understands your Current Task. *Pervasive Computing, IEEE*, 12(3), 56-65. doi: 10.1109/MPRV.2013.45
- Clapp, N. E., & Hively, L. M. (1997). Method and apparatus for extraction of low-frequency artifacts from brain waves for alertness detection: Google Patents.
- Clements-Croome, D. (2008). Work Performance, Productivity and Indoor Air, *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, Volume 34, Supplement 4, 69-78.
- Costa, E. Q., Guedes, J. C. and Baptista, J. S (2012). ‘Core Body Temperature Evaluation: Suitability of Measurement Pro-cedures’. *Thermology International*, Vol.22 n° Appendix 1 to Number 3, pp.33-41.
- Costa, E. Quelhas and Baptista J. Santos (2013). ‘Thermal Environment and Cognitive Performance: Parameters and Equipment.’ *Proceedings n° 69 of SHO2013*, Guimarães pp. 267-272.
- Costa, E. Quelhas; Baptista, J. Santos & Carvalho, Jorge (2014). Evolution of skin temperature at different temperature and humidity conditions. *Occupational Safety and Hygiene*, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00144-2, pp. 187-191
- Desai, Y. S. (2012). Driver’s alertness detection for based on eye blink duration via EOG & EEG. Association of Computer Communication Education for National Triumph (ACCENT). *International Journal of Advanced Computer Research* (ISSN (print): 2249-7277 ISSN (online): 2277-7970.)
- Dasari, D., Crowe, C., Ling, C., Zhu, M., & Ding, L. (2010). *EEG pattern analysis for physiological indicators of mental fatigue in simulated air traffic control tasks*, San Francisco, CA.
- Dumery, B., Grounauer, P. A., & Van Toi, V. (2010). *Eyestrain, blink rate and dry eye syndromes of video display terminal users*, Ho Chi Minh City. doi: 10.1007/978-3-642-12020-6-68
- Fanger, P.O. (1972). ‘Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering’, McGraw-Hill, USA: New York
- Fukuda, K., Stern, J. A., Brown, T. B., & Russo, M. B. (2005). Cognition, blinks, eye-movements, and pupillary movements during performance of a running memory task. *Aviat Space Environ Med*, 76(7 Suppl), C75-85. doi: 10.2466/PMS.102.3.721-735

- Gao, J. F., Yang, Y., Lin, P., Wang, P., & Zheng, C. X. (2010). Automatic removal of eye-movement and blink artifacts from EEG signals. *Brain Topogr*, 23(1), 105-114. doi: 10.1007/s10548-009-0131-4
- Goldstein, R., Bauer, L. O., & Stern, J. A. (1992). Effect of task difficulty and interstimulus interval on blink parameters. *International Journal of Psychophysiology*, 13(2), 111-117. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0167-8760\(92\)90050-L](http://dx.doi.org/10.1016/0167-8760(92)90050-L)
- Guedes J.C., Costa, E. Q., & Baptista, J. S. (2012) 'Using a Climatic Chamber to Measure The Human Psychophysiological Response Under Different Combinations Of Temperature And Humidity'. *Thermology International*, Vol.22, n° Appendix 1 to Number 3, pp.49-54.
- Holland, M. K., & Tarlow, G. (1972). Blinking and mental load. *Psychol Rep*, 31(1), 119-127. doi: 10.2466/pr0.1972.31.1.119
- Hsieh, C. S., & Tai, C. C. (2013). AN IMPROVED AND PORTABLE EYE-BLINK DURATION DETECTION SYSTEM TO WARN OF DRIVER FATIGUE. *Instrumentation Science & Technology*, 41(5), 429-444. doi: 10.1080/10739149.2013.796560
- ISO 7730 (2005). Ergonomics of the thermal environment- Analytical determination and interpretation of thermal comfort and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO 9886 (2004). Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological measurements. Genève, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO 10551 (1995). Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. International Standard Organization.
- Jacob, S.; Francone, C.; & Losson, W. (1990). *Anatomia e Fisiologia Humana* (5ª ed., pp.215-290). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A..
- Jiang, X., Tien, G., Huang, D., Zheng, B., & Atkins, M. S. (2013). Capturing and evaluating blinks from video-based eyetrackers. *Behav Res Methods*, 45(3), 656-663. doi: 10.3758/s13428-012-0294-x
- Kar, S., Bhagat, M., & Routray, A. (2010). EEG signal analysis for the assessment and quantification of driver's fatigue. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 13(5), 297-306. doi: 10.1016/j.trf.2010.06.006
- Kay, D., Heavner, D., Nelson, P., Jennings, R., Eaker, D., Robinson, J., et al. (1990). Effects of relative humidity on nonsmoker response to environmental tobacco smoke. *Proceedings of Indoor Air*; vol. 1:275-80.
- Kim, D., Choi, S., Choi, J., Shin, H., & Sohn, K. (2011). Visual fatigue monitoring system based on eye-movement and eye-blink detection. *Stereoscopic Displays and Applications Xxii*, 7863. doi: 10.1117/12.873354
- Kurylyak, Y., Lamonaca, F., & Mirabelli, G. (2012). *Detection of the eye blinks for human's fatigue monitoring*. Paper presented at the Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2012 IEEE International Symposium on. doi: 10.1109/MeMeA.2012.6226666
- Luck, S. J. (2014). *An introduction to the event-related potential technique*. MIT press.
- Makeig, S., & Jung, T.-P. (1996). Tonic, phasic, and transient EEG correlates of auditory awareness in drowsiness. *Cognitive Brain Research*, 4(1), 15-25. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00042-9](http://dx.doi.org/10.1016/0926-6410(95)00042-9)
- McGregor, D. K., & Stern, J. A. (1996). Time on task and blink effects on saccade duration. *Ergonomics*, 39(4), 649-660. doi: 10.1080/00140139608964487

- McIntire, L. K., McKinley, R. A., Goodyear, C., & McIntire, J. P. (2014). Detection of vigilance performance using eye blinks. *Applied Ergonomics*, 45(2), 354-362. doi: 10.1016/j.apergo.2013.04.020
- McKenzie, J., & Osgood, D. (2004). Validation of a new telemetric core temperature monitor. *Journal of Thermal Biology*, 605-611.
- Morris, T. L., & Miller, J. C. (1996). Electrooculographic and performance indices of fatigue during simulated flight. *Biological Psychology*, 42(3), 343-360. doi: http://dx.doi.org/10.1016/0301-0511(95)05166-X
- Miguel, S. (2007). Manual de Higiene e Segurança do Trabalho, Porto Editora, Porto.
- Nahas, M. (2001). Actividade física, saúde e qualidade de vida: conceitos e sugestões para um estilo de vida activo. Londrina: Midiograf.
- Nakano, T., Yamamoto, Y., Kitajo, K., Takahashi, T., & Kitazawa, S. (2009). Synchronization of spontaneous eyeblinks while viewing video stories. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. doi: 10.1098/rspb.2009.0828
- Noureddin, B., Lawrence, P. D., & Birch, G. E. (2012). Online removal of eye movement and blink EEG artifacts using a high-speed eye tracker. *IEEE Trans Biomed Eng*, 59(8), 2103-2110. doi: 10.1109/tbme.2011.2108295
- Pedrotti, M., Lei, S., Dzaack, J., & Rötting, M. (2011). A data-driven algorithm for offline pupil signal preprocessing and eyeblink detection in low-speed eye-tracking protocols. *Behav Res Methods*, 43(2), 372-383. doi: 10.3758/s13428-010-0055-7
- Recarte, M. A., Perez, E., Conchillo, A., & Nunes, L. M. (2008). Mental workload and visual impairment: differences between pupil, blink, and subjective rating. *Span J Psychol*, 11(2), 374-385.
- Rozanova, E., Heilig, P., & Godnić-Cvar, J. (2009). The Eye - a Neglected Organ in Environmental and Occupational Medicine: An Overview of Known Environmental and Occupational Non-Traumatic Effects on the Eyes. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 60(2), 205-215. doi: 10.2478/10004-1254-60-2009-1869
- Samavati, M., Nasrabadi, A. M., & Mohammadi, M. R. (2012). *Automatic minimization of eye blink artifacts using fractal dimension of independent components of multichannel EEG*. Paper presented at the Electrical Engineering (ICEE), 2012 20th Iranian Conference on. doi: 10.1109/IranianCEE.2012.6292611
- Schleicher, R., Galley, N., Briest, S., & Galley, L. (2008). Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: looking tired? *Ergonomics*, 51(7), 982-1010. doi: 10.1080/00140130701817062
- Seeley, R.R., Stephens, T.D. and Tate, P. (2003) Anatomy and physiology. McGraw-Hill, New York.
- Soomro, M. H., Badruddin, N., Yusoff, M. Z., & Malik, A. S. (2013). *A method for automatic removal of eye blink artifacts from EEG based on EMD-ICA*. Paper presented at the Signal Processing and its Applications (CSPA), 2013 IEEE 9th International Colloquium on. doi: 10.1109/CSPA.2013.6530028
- Stern, J. A., Boyer, D., & Schroeder, D. (1994). Blink rate: a possible measure of fatigue. *Hum Factors*, 36(2), 285-297. doi:
- Stern, J. A., & Skelly, J. J. (1984). The Eye Blink and Workload Considerations. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 28(11), 942-944. doi: 10.1177/154193128402801101
- Tanabe, S.-i., Nishihara, N., & Haneda, M. (2007). Indoor Temperature, Productivity, and Fatigue in Office Tasks. *HVAC&R Research*, 13(4), 623-633. doi: 10.1080/10789669.2007.10390975
- Tsubota K, Hata S, Mori A, Nakamori K, Fujishima H. (1997). Decreased blinking in dry saunas. *Cornea*;16:242-4

- Van Orden, K. F., Jung, T.-P., & Makeig, S. (2000). Combined eye activity measures accurately estimate changes in sustained visual task performance. *Biological Psychology*, 52(3), 221-240. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-0511\(99\)00043-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-0511(99)00043-5)
- Wascher, E., Heppner, H., & Hoffmann, S. (2014). Towards the measurement of event-related EEG activity in real-life working environments. *International Journal of Psychophysiology*, 91(1), 3-9. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.10.006>
- Wilson, G. F., Fullenkamp, P., & Davis, I. (1994). Evoked potential, cardiac, blink, and respiration measures of pilot workload in air-to-ground missions. *Aviat Space Environ Med*, 65(2), 100-105.
- Wolkoff, P., & Kjærgaard, S. K. (2007). The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environment International*, 33(6), 850-857. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2007.04.004>
- Wolkoff, P., Nojgaard, J. K., Troiano, P., & Piccoli, B. (2005). Eye complaints in the office environment: precorneal tear film integrity influenced by eye blinking efficiency. *Occup Environ Med*, 62(1), 4-12. doi: 10.1136/oem.2004.016030
- Wright, K. P., Jr., Badia, P., & Wauquier, A. (1995). Topographical and temporal patterns of brain activity during the transition from wakefulness to sleep. *Sleep*, 18(10), 880-889.
- Yandong, L., Zhongwei, M., Wenkai, L., & Yanda, L. (2006). Automatic removal of the eye blink artifact from EEG using an ICA-based template matching approach. *Physiological Measurement*, 27(4), 425. doi:10.1088/0967-3334/27/4/008
- Zheng, B., Jiang, X., Tien, G., Meneghetti, A., Panton, O. N., & Atkins, M. S. (2012). Workload assessment of surgeons: correlation between NASA TLX and blinks. *Surgical Endoscopy*, 26(10), 2746-2750. doi: 10.1007/s00464-012-2268-6

ANEXOS

Anexo I - Questionário de Sensação Térmica	3
Anexo II - Declaração de Consentimento Informado.....	5
Anexo III - Tabela com contagem do número total de pestanejos por cada minuto.....	7
Anexo IV - Monitorização Temperatura.....	9

Anexo I – Questionário de Sensação Térmica



Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

Protocolo de Ensaio

A preencher pela Equip. Investi.
Ensaio nº

Nome:

Data de Nascimento:

Por Favor responda às seguintes perguntas relativamente ao seu Conforto Térmico no início do ensaio

Início do Ensaio

1. Indique com um X na escala como se sentiu no momento de entrar na câmara.

Data

Sensação

- Quente
- Morno
- Ligeiramente Morno
- Neutro
- Ligeiramente Fresco
- Fresco
- Frio

2. Como gostaria de estar agora? Assinale a sua resposta com um X

Mais Quente	Neutro	Mais Frio

3. Se sentiu algum dos sintomas abaixo mencionados assinale com um X

Sonolência	
Enjoo	
Vômitos	
Tonturas	
Calafrios	
Ansiedade	
Cansaço	
Apatia	
Perda de Coordenação Motora	
Outro, Qual?	
Nenhum	

Questionário de Sensação Térmica



Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

Protocolo de Ensaio

A preencher pela Equip. Investi
Ensaio n.º

Nome:

Data de Nascimento:

Por Favor responda às seguintes perguntas relativamente ao seu Conforto Térmico no final do ensaio.

Fim do Ensaio

1. Indique com um X na escala como se sentiu no momento de sair da câmara.

Data

Sensação

Quente
Morno
Ligeiramente Morno
Neutro
Ligeiramente Fresco
Fresco
Frio

2. Como gostaria de estar agora? Assinale a sua resposta com um X

Mais Quente	Neutro	Mais Frio

3. Se sentiu algum dos sintomas abaixo mencionados assinale com um X

Sonolência	
Enjoo	
Vómitos	
Tonturas	
Calafrios	
Ansiedade	
Cansaço	
Apatia	
Perda de Coordenação Motora	
Outro, Qual?	
Nenhum	

Anexo II - Declaração de Consentimento Informado



Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais

Declaração de Consentimento Informado

(baseado no anexo A da ISO 12894:2001)

Nome
Idade Género: M...F....
Médico Assistente
Morada

Declaro para os devidos efeitos que:

1. Estou disposto a participar como voluntário, num estudo experimental ao tema:.....
Que será conduzido por:
Nas instalações do (a).....
2. Recebi uma explicação sobre a natureza e a finalidade deste estudo e de quaisquer riscos para a minha saúde que estão previstos e que podem ser:
 - a) Aumento da temperatura interna e da temperatura da pele durante o ensaio;
 - b) Aumento do batimento cardíaco durante o ensaio;
 - c) Eventual dificuldade para deglutir a cápsula;
 - d) Outro qualquer sintoma de stresse por calor que apareça durante o ensaio, como, por exemplo, dores de cabeça, náuseas ou vertigens, deve ser imediatamente comunicado e o ensaio suspenso.
3. Concorde em fornecer informações precisas sobre a minha saúde e ser submetido a exame médico, se tal for necessário. Entendo que todas as informações sobre a minha saúde são tratadas em sigilo.
4. Concorde em ser filmado durante a realização dos ensaios para efeitos da visualização do pestanejar.
5. Concorde em cooperar plenamente com os investigadores e não tomar qualquer atitude voluntária que possa invalidar os resultados.
6. Durante o decorrer das investigações a que estou agora a dar o meu consentimento, comprometo-me a não participar, como voluntário, em qualquer outro estudo, sem informar previamente os investigadores e obter a sua aprovação.
7. A qualquer momento sei que posso retirar o meu consentimento de participação no estudo, sem necessidade de dar uma explicação para a minha decisão.
8. Compreendi a informação que me foi dada, tive oportunidade de fazer perguntas e as minhas dúvidas foram esclarecidas.
9. Aceito participar de livre vontade no estudo acima mencionado.
10. Autorizo expressamente que os dados obtidos na minha pessoa sejam utilizados para a produção de artigos técnicos e científicos, sendo garantido sigilo sobre a minha identidade.

Assinatura.....

Data.....

Declaração do pesquisador

No âmbito do estudo descrito acima, expliquei ao Senhor..... a natureza e a finalidade do estudo e de eventuais riscos de participação no mesmo. Mais, expliquei que a decisão dos voluntários não afeta o direito à indemnização em caso de doença ou lesão, incluindo riscos que possam ocorrer, ainda que não previstos.

Assinatura.....

Data.....

Anexo III - Tabela com a contagem do número total de pestanejos por minuto

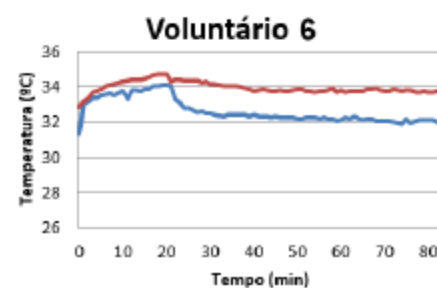
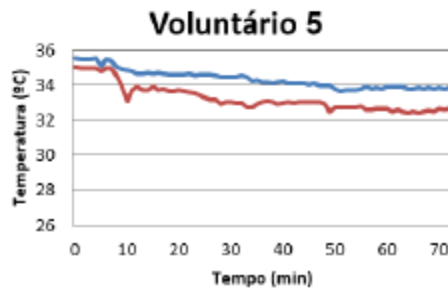
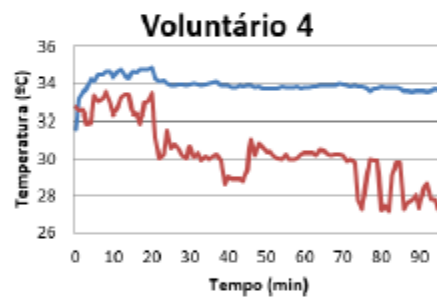
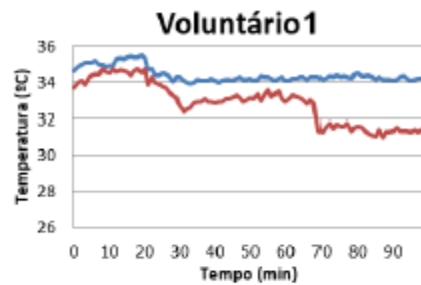
Minutos	Nº máximo de pestanejos por minuto em cada ensaio																			
	V1		V2		V3		V4		V5		V6		V7		V8		V9		V10	
	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
1	9	35	7	23	30	13	14	7	13	12	4	22	29	6	15	6	12	30	35	24
2	10	33	4	29	20	14	13	15	13	15	5	16	28	25	11	2	11	26	17	18
3	9	36	5	39	32	17	11	17	12	10	9	19	25	16	16	5	17	23	25	14
4	21	37	33	34	33	12	10	13	11	7	9	24	19	19	9	6	25	16	27	20
5	26	30	40	36	32	18	13	15	10	10	8	23	32	17	13	4	17	18	9	21
6	22	30	35	39	34	22	19	18	14	7	7	23	17	17	15	9	21	23	14	19
7	23	33	34	39	32	24	20	25	9	7	7	22	6	9	11	8	17	15	27	16
8	25	36	37	34	30	26	21	14	18	14	9	25	9	15	14	6	14	22	28	23
9	17	34	34	37	25	26	27	4	12	15	11	25	21	12	15	8	26	10	27	19
10	26	31	35	37	30	30	16	16	17	10	14	28	22	17	15	6	27	20	24	19
11	26	37	34	38	29	29	21	10	13	16	14	35	15	27	13	5	21	18	30	28
12	21	32	46	40	17	38	15	18	16	17	16	24	19	29	14	8	25	19	28	20
13	18	28	42	39	32	34	21	10	9	18	21	19	9	24	13	6	30	19	29	20
14	24	33	34	37	13	36	20	17	17	14	20	17	11	23	11	6	27	10	31	19
15	27	36	34	40	19	25	23	17	14	24	19	16	4	4	13	9	31	18	31	19
16	30	33	35	36	26	30	17	11	18	19	19	15	26	13	12	9	33	26	28	19
17	23	36	36	36	31	34	30	19	24	20	19	22	16	24	11	8	26	15	28	19
18	32	37	37	26	35	24	20	17	18	21	20	26	13	26	14	8	21	15	24	19
19	22	37	36	40	31	28	21	12	18	16	20	19	16	25	11	6	36	19	30	25
20	18	36	39	30	25	37	27	15	14	18	19	15	18	18	14	10	27	11	27	19
21	25	38	36	33	29	36	17	11	13	20	22	20	26	13	14	7	31	12	22	25
22	25	38	36	43	27	38	28	23	18	15	18	32	24	9	10	9	28	21	30	27
23	27	36	31	37	29	31	13	14	19	19	18	32	30	15	17	10	28	16	30	22
24	22	41	37	34	27	37	17	26	13	15	26	18	31	24	21	10	30	21	26	27
25	31	39	38	37	30	36	20	17	18	24	32	8	30	16	16	12	28	20	32	21
26	22	42	40	38	25	36	27	10	11	26	29	18	28	24	22	11	34	11	36	22
27	29	34	44	41	31	37	17	13	18	20	27	23	18	20	18	10	21	5	34	21
28	24	38	27	40	31	37	20	9	20	17	23	29	13	21	14	12	34	19	33	26
29	30	39	37	32	29	37	25	15	18	19	24	26	20	18	13	9	34	11	30	26
30	23	37	39	35	35	36	10	15	13	16	34	33	8	18	11	10	38	15	35	25
31	28	38	33	34	30	37	13	15	18	20	33	30	20	23	15	11	34	15	31	16
32	35	33	33	28	32	33	22	9	24	24	26	26	22	17	19	10	36	20	34	18
33	33	37	35	35	26	36	14	20	21	26	31	33	17	22	20	13	29	10	35	23
34	36	33	39	36	25	39	16	14	16	23	32	13	15	28	16	10	34	8	32	23
35	33	30	42	36	31	40	16	12	16	20	33	6	29	17	16	9	37	17	28	27
36	35	36	35	36	27	36	22	17	26	18	31	5	25	30	16	10	34	16	32	22
37	32	35	40	40	35	31	19	13	21	22	32	16	32	30	11	12	29	20	32	19
38	38	39	41	39	28	35	20	19	17	20	26	16	25	25	16	14	29	7	38	22
39	33	35	39	37	38	35	20	17	18	21	36	27	32	24	18	12	19	8	31	24
40	31	34	38	40	27	37	16	17	12	21	29	26	23	24	17	7	23	16	27	20
41	32	26	37	38	25	36	16	13	12	20	32	30	16	5	17	14	27	12	28	29
42	33	39	42	37	36	40	17	11	15	14	34	20	10	27	14	14	35	5	27	23
43	32	33	38	34	29	35	9	8	13	19	37	30	9	22	17	15	33	13	29	20
44	36	34	37	36	30	39	14	13	15	10	34	31	9	11	19	11	38	15	24	20
45	35	30	37	31	21	34	16	15	12	16	39	29	15	17	12	14	34	9	31	27
46	34	36	41	38	22	38	18	15	13	15	35	30	20	28	18	14	39	9	31	24
47	26	35	32	22	27	31	12	16	20	20	38	34	23	26	17	16	38	13	30	25
48	29	29	46	33	30	39	19	13	15	13	33	36	21	16	19	16	37	7	25	14
49	33	33	36	33	22	27	12	16	17	20	31	31	15	30	23	16	33	15	23	24
50	35	34	41	28	27	28	17	20	14	24	32	30	27	16	13	9	8	6	26	23

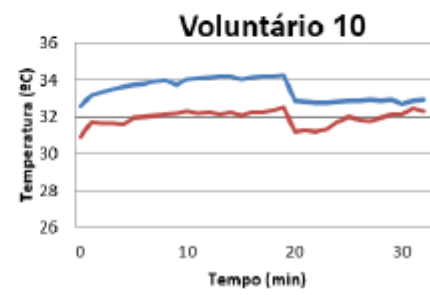
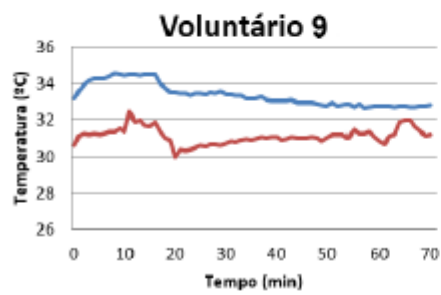
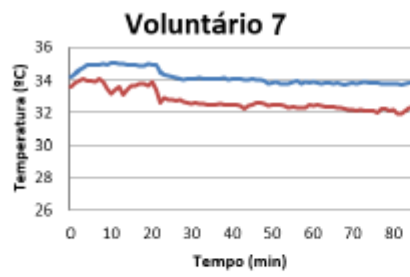
Anexo IV – Monitorização da Temperatura

Monitorização da Temperatura da Pele na Condição 1:

A. Testa – Linha Azul;

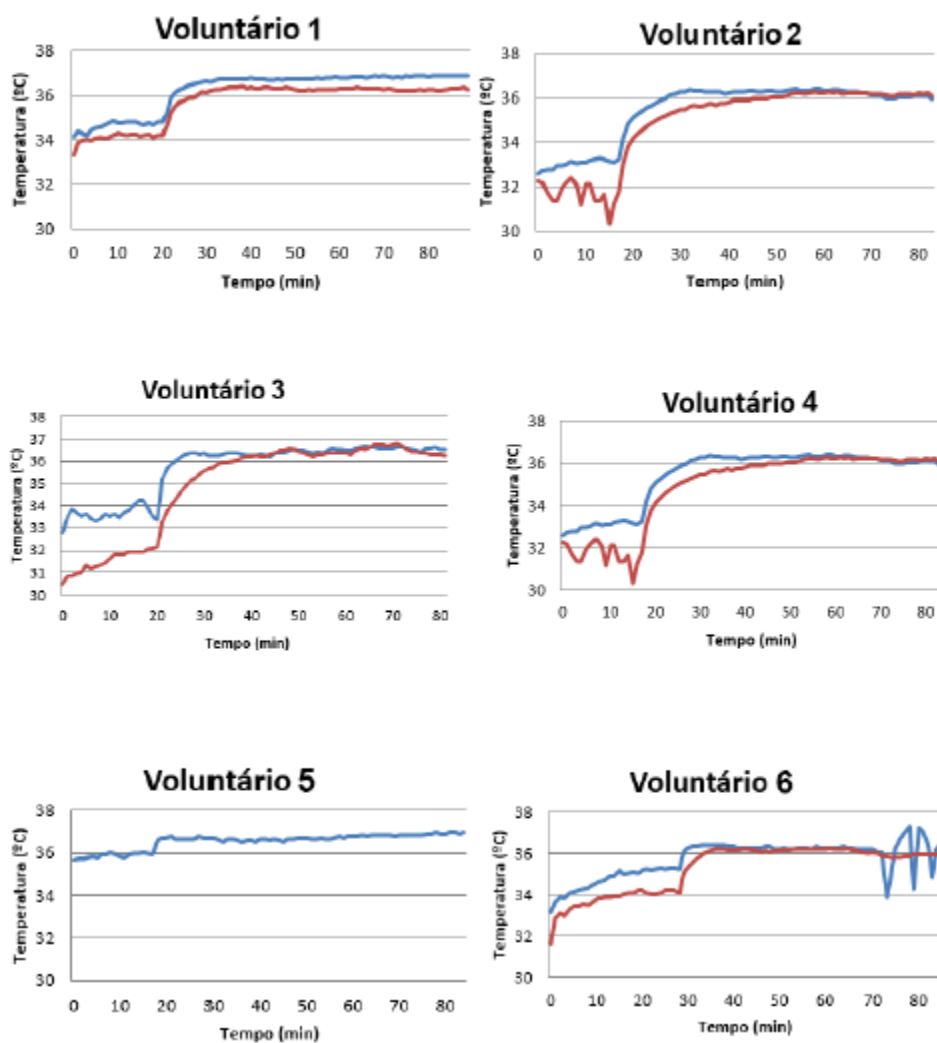
B. Pescoço – Linha Vermelha;

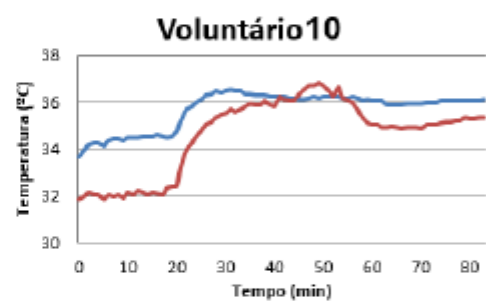
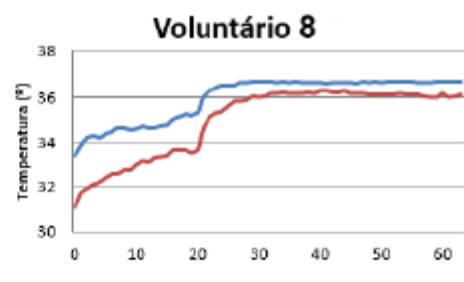




Monitorização da Temperatura da Pele na Condição 2:

- A. Testa – Linha Azul;
- B. Pescoço – Linha Vermelha;





Monitorização da Temperatura da Interna dos voluntários:

